Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

AGROPARISTECH – **C**ENTRE de **N**ANCY
14, rue Girardet – CS 14216 – 54042 NANCY cedex

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

ÉTUDE DES FACTEURS INFLUENCANT LA SÉLECTION DES SITES DE NIDIFICATION CHEZ LA CIGOGNE NOIRE, *CICONIA NIGRA*

Magot, Charline

Spécialisation : Gestion des Milieux Naturels

Étude réalisée à : l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC)
UMR 7178 CNRS-UdS
Département Écologie, Physiologie et Éthologie
23 rue Becquerel, 67 087 Strasbourg

– 2 0 1 7 –

Étude des facteurs influençant la sélection des sites de nidification chez la cigogne noire, *Ciconia nigra*

Dominante d'approfondissement
Gestion des Milieux Naturels

Présenté par Charline MAGOT

Stage effectué du 05/03/2018 au 04/09/2018
À l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC)
UMR 7178 CNRS-UdS
Département Écologie, Physiologie et Éthologie
23 rue Becquerel, 67 087 Strasbourg

Maître de stage : Dr. Damien CHEVALLIER (CNRS IPHC)
Enseignant référent : François LEBOURGEOIS (LERFoB)

Soutenu le 08/10/2018 Année 2017/2018

Crédit photographique :
© Copyright fotoplatforma.pl

Bordeaux Sciences Agro

AgroParisTech
Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement

CNRS

Étude des facteurs influençant la sélection des sites de nidification chez la cigogne noire, *Ciconia nigra*

Dominante d'approfondissement
Gestion des Milieux Naturels

Présenté par Charline MAGOT

Stage effectué du 05/03/2018 au 04/09/2018
À l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC)
UMR 7178 CNRS-UdS
Département Écologie, Physiologie et Éthologie
23 rue Becquerel, 67 087 Strasbourg

Maître de stage : Dr. Damien CHEVALLIER (CNRS IPHC)
Enseignant référent : François LEBOURGEOIS (LERFoB)

Soutenu le 08/10/2018

Année 2017/2018

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE AgroParisTech

Formation des ingénieurs forestiers d'AgroParisTech-	**TRAVAUX D'ÉLÈVES**
TITRE : Étude des facteurs influençant la sélection des sites de nidification chez la cigogne noire, Ciconia nigra	**Mots clés : Cigogne noire, site de nidification, caractérisation, sélection, macro-habitat, micro-habitat, peuplement forestier, conservation.**
AUTEUR(S) : Charline MAGOT	**Promotion : 25**
Caractéristiques : 1 volume ; 81 pages ; 32 figures ; 6 annexes ; bibliographie.	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC)
UMR 7178 CNRS-UdS
Département Écologie Physiologie, Éthologie

Nom du responsable : Damien CHEVALLIER

Fonction : Chercheur

Nom du correspondant AgroParisTech : François LEBOURGEOIS

Option ☐	**Stage 2A** ☐	**Autre** ☐
D. d'approfondissement ☒	**Stage fin d'études** ☒	
CEI ☐	**Date de remise :**	

SUITE À DONNER (réservé à la Direction des études)

☐ **Consultable et diffusable**
☐ **Confidentiel de façon permanente**
☐ **Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable**

Résumé

La première nidification connue de la cigogne noire sur le territoire en 1973 marque la recolonisation progressive de cette espèce vulnérable, essentiellement forestière durant la reproduction. C'est dans ce contexte que l'Office National des Forêts (ONF) a classé cette espèce comme indicatrice de la qualité des milieux forestiers, dans le cadre du bilan patrimonial des forêts domaniales. Elle bénéficie ainsi de mesures de conservation, en particulier, le site de nidification est pris en compte dans l'itinéraire forestier. Néanmoins, l'efficacité de ces mesures repose sur la connaissance approfondie de l'écologie de cette espèce. Or, les sites de nidification de l'espèce sont encore peu étudiés.

Après avoir établi un protocole visant à caractériser 31 sites de nidification de cigognes noires en décrivant plusieurs échelles d'habitat, les données récoltées ont permis d'identifier les facteurs intervenant de façon décisive dans la sélection de ce dernier. Si à l'échelle du paysage, la proximité aux zones de gagnage est avérée, le macro-habitat est sélectionné selon des critères renvoyant à la dissimulation du nid depuis le sol, mais surtout à l'accessibilité du site pour un oiseau ayant une envergure moyenne de 1,8 m. Les caractéristiques des peuplements investis pour la reproduction sont originales, comparées aux résultats de l'Inventaire Forestier National. A l'échelle du micro-habitat, l'arbre porteur de nid est choisi selon des caractères assurant aussi bien le maintien que la protection du nid.

L'échelle d'habitat à laquelle la sélection opère semblerait être le peuplement aux alentours du nid, bien que les autres échelles soient bien évidemment intégrées au processus complexe et hiérarchique de la sélection de cet habitat de nidification. De toute évidence, cette approche multi-échelle valide les observations de terrain et devrait permettre d'optimiser les prospections de sites de nidification potentiels, le tout selon l'enjeu considérable de conservation de cette espèce très vulnérable.

Mots clefs : cigogne noire, site de nidification, caractérisation, sélection, macro-habitat, micro-habitat, peuplement forestier, conservation

Abstract

The first known nesting in 1973 of black storks on the territory has marked a gradual recolonisation by this vulnerable forest species during breeding season. In that respect, the bird had been selected as indicator species of the forests quality in the state forests statement of assets by the Office National des Forêts (ONF). Thus, as part of the statement, black storks benefit from conservation measures. In particular, the nesting sites are taken into account in forestry itinerary. Nonetheless, the efficiency of these measures depends on the deep knowledge of its ecology. Yet, the species nesting sites have been little studied to date.

After establishing a protocol aimed to describe 31 black storks nesting sites at several habitat scales, the collected data has allowed to identify factors critically involved in the selection of these sites. While, at the landscape scale, the nesting sites are close to the feeding grounds, the macro-habitat scale is selected for its nest hiding ability, but mostly for its accessibility for a bird that can reach a wingspan up to 1,8 m. Selected forest stands have original characteristics, compared with the results provided by the Inventaire Forestier National. At the micro-habitat scale, the nest tree is chosen according to criteria providing both support and protection to the nest.

Although each habitat scale is involved in the complex and hierarchical mechanism of the nest-site selection, it seems that the forest stand around the nest corresponds to the more selective scale. There is clear evidence that multi-scale approach confirms field observations and would allow optimising potential nest-sites prospections according to the significant conservation issue of this very vulnerable species.

Key words : black stork, nesting site, characterization, selection, macro-habitat, micro-habitat, forest stand, conservation

AgroParisTech

Engagement de non plagiat

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris a autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux :
  - ➢ Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive.
  - ➢ Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

❸ Sanction : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

❹ Engagement :

Je soussigné (e) Charline MAGOT

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Langres le 17/09/2018

Signature :

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Sommaire

Remerciements 1

Index alphabétique des sigles et abréviations 2

1. Introduction et contexte de l'étude 3

1.1. Éléments de contexte : la sélection d'habitats chez les oiseaux 3

1.1.1. Sélection d'habitats chez les oiseaux 3

1.1.2. Enjeux des sites de reproduction 3

1.2. Écologie, statut et enjeux de conservation de la cigogne noire 4

1.2.1 Distribution et statut de la cigogne noire 4

1.2.2 La cigogne noire, espèce indicatrice pour le bilan patrimonial des forêts domaniales de l'ONF 5

1.3. Problématisation et résultats attendus 6

1.3.1. État des connaissances sur les sites de nidification chez la cigogne noire 6

1.3.2. Problématisation et objectifs du stage 7

2. Matériel et méthode 9

2.1. Préparation à la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire 9

2.1.1. Démarche générale, introduction à la méthode 9

2.1.2. Définition du sujet d'étude : les sites de nidification chez la cigogne noire 9

2.1.3. Les descripteurs retenus pour la caractérisation des sites 10

2.2. Le protocole de caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire 22

2.2.1. Les sites de nidifications caractérisés 22

2.2.2. Description de la zone d'étude : des sites répartis sur un vaste secteur géographique 23

2.2.3. Caractérisation des sites de nidification 24

2.3. Traitement des données 28

2.3.1. Données de caractérisation des sites de nidification 28

2.3.2. Approche LIDAR 29

3. Résultats 30

3.1. Une mosaïque de caractéristiques pour les sites de nidification de la cigogne noire 30

3.1.1. Contexte des sites de nidification étudiés et expérience des couples nicheurs 30

3.1.2. L'échelle du paysage : les abords du nid au-delà d'un rayon de 30 m autour de l'arbre porteur du nid 33

3.1.3. Le macro-habitat : l'environnement autour du nid dans un rayon de 30 m 36

3.1.4. Le micro-habitat : l'arbre porteur du nid 40

3.1.5. Confrontation des données du macro-habitat avec des peuplements ne présentant pas de nid de cigogne noire 45

3.2. Image de sélection du site de nidification 46

3.3. Apport de la technologie du LIDAR terrestre 48

3.3.1. Comparaison avec les relevés « à la main » 48
3.3.2. Modélisation des potentialités d'accès au nid 50
4. Discussion 52
4.1. Les résultats de la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire 52
4.1.1. L'effet d'expérience des couples nicheurs 52
4.1.2. Des sites de nidification isolés des activités humaines mais étroitement liés aux zones de gagnage 52
4.1.3. L'étude du macro-habitat : un peuplement apte à la dissimulation et à l'accessibilité du nid 53
4.1.4. L'étude du micro-habitat : le maintien et la protection du nid 53
4.1.5. Comparaison à l'échelle nationale : des sites originaux 54
4.1.6. Une combinaison de trois échelles intervenant dans le processus de sélection du site de nidification 54
4.2 Intérêts et limites de la caractérisation multi-échelle des sites de nidification chez la cigogne noire en milieu forestier 55
4.3 Perspectives pour la prospection des sites de nidification et gestion forestière 56
5. Conclusion 58
Références bibliographiques 59
Liste des contacts 64
Annexes 65

Table des figures

Figure 1 : Année de la découverte de la première nidification de cigogne noire par département (Denis et Brossault, 2016) 5
Figure 2 : Opération de baguage au nid de jeunes cigogneaux noirs, source : C. Magot, mai 2018. 6
Figure 3 : Modèle de bordereau de baguage au nid de cigognes noires 10
Figure 4 : Répartition de la cigogne noire en fonction de la fréquentation de la route et du sentier, n = 89 (Pruvost et al., 2016) 12
Figure 5 : Répartition des nids connus en région Wallonne entre 1995 et 2003 en fonction du réseau hydrographique (Jadoul et Cabaret, 2003) 13
Figure 6 : Cigogne noire perchée sur un arbre mort, source : J-J. Boutteaux) 18
Figure 7 : Cigogneaux au nid, une structure imposante composée de branches et garnie de mousse, source : J-J. Boutteaux 19
Figure 8 : Répartition des nids selon l'exposition, n = 60 (Jadoul et Cabaret, 2003) 21
Figure 9 : Arbre porteur de nid de cigogne noire (C. Magot, juin 2018). La flèche rouge correspond à la distance entre le nid et l'aplomb du houppier. La flèche orange correspond à la distance entre le nid et la branche directement au-dessus. 22
Figure 10 : Les 31 sites de nidification de cigognes noires décrits (© 2017 Esri) 23
Figure 11 : Schéma simplifié des différents contextes topographiques qu'il est possible de rencontrer sur les sites 25
Figure 12 : Schémas des différents types de mélanges des arbres selon leur position sociale (Bastien, 2002) 26
Figure 13 : Schéma de la placette pour les mesures dendrométriques 27
Figure 14 : Évaluation de la disponibilité en matériaux potentiellement constitutifs d'un nid, quadrats de 1 m² 28
Figure 15 : Le LIDAR terrestre (Piboule, 2014) 29
Figure 16 : Propriété forestière des sites étudiés (FD : forêt domaniale ; FC : forêt communale ; FS : forêt syndicale ; FP : forêt privée), n = 31 30
Figure 17 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des données pour les descripteurs portant sur l'historique des sites de nidification étudiés 30
Figure 18 : Continuité dans l'occupation des sites de nidification 31
Figure 19 : a. ACP réalisée sur les descripteurs liés à l'historique des sites, b. Corrélogramme portant sur les descripteurs liés à l'historique des sites 31
Figure 20 : Diagramme des individus et ellipses de confiance en fonction de la continuité dans l'occupation des sites 32
Figure 21 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des distances entre les sites de nidification et diverses entités du paysage 34
Figure 22 : Représentation des variables qualitatives à l'échelle du paysage : a) position du nid par rapport au cloisonnement le plus proche, b) position du nid par rapport aux têtes de bassin versant, c) estimation du nombre d'habitants dans la ville la plus proche du site de nidification, source : IGN Scan 25 34
Figure 23 : ACP réalisée sur les descripteurs à l'échelle du paysage 35
Figure 24 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des valeurs pour chaque variable quantitative étudiée pour le macro-habitat 37
Figure 25 : Représentations graphiques des variables qualitatives caractérisant le macro-habitat des sites de nidification de cigognes noires 38
Figure 26 : a. ACP réalisée sur les descripteurs caractérisant le macro-habitat des sites de nidification de cigognes noires. Les variables sont colorées en fonction de leur contribution aux dimensions. b. CAH réalisée suite à l'ACP 39
Figure 27 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des valeurs pour chaque variable quantitative étudiée pour le micro-habitat 42
Figure 28 : Représentations graphiques des variables qualitatives caractérisant le micro-habitat des sites de nidification de cigognes noires, a. Particularité d'embranchement à l'emplacement du nid dans l'arbre 43
Figure 29 : a. ACP réalisée sur les descripteurs caractérisant le micro-habitat des sites de nidification de cigognes noires. Les variables sont colorées en fonction de leur contribution aux dimensions. b. CAH réalisée suite à l'ACP 44
Figure 30 : AFM réalisée sur les différents groupes de variables pour les trois échelles d'habitat étudiées. Les variables en vert correspondent aux variables qualitatives, les variables en rouge correspondent aux variables quantitatives 47
Figure 31 : Cercle des corrélations correspondant à l'AFM réalisée pour les différentes échelles d'habitat étudiées 47
Figure 32 : Modélisation des accès potentiels au nid par les cigognes noires sous différents points de vue, logiciel Computree® 51

Table des tableaux

Tableau 1 : Descripteurs de contexte des sites de nidification 11
Tableau 2 : Descripteurs abordant l'échelle du paysage, facteurs extrinsèques au site de nidification 12
Tableau 3 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, topographie 14
Tableau 4 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, gestion forestière et composition en essences 15
Tableau 5: Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, consistance du peuplement et capital 16
Tableau 6 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, structure du peuplement de la placette 17
Tableau 7: Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, structure du peuplement de la placette, accessibilité du site et ressources pour le nid 18
Tableau 8 : Descripteurs à l'échelle du micro-habitat des sites de nidification 20
Tableau 9: Moyennes et erreurs types des descripteurs portant sur l'historique des sites de nidification étudiés 31
Tableau 10 : Moyennes et erreurs types des descripteurs quantitatifs à l'échelle du paysage 34
Tableau 11 : Moyennes et erreurs types des descripteurs quantitatifs à l'échelle du macro-habitat 38
Tableau 12 : Moyennes et erreurs types associées pour chaque variable quantitative caractérisant le micro-habitat d'un site de nidification de cigogne noire 42
Tableau 13 : Tableau résumant les tests de comparaisons de moyennes effectués pour différentes variables entre les sites de nidification de cigognes noires et les données issues de l'IFN à l'échelle nationale, source : IGN, 2018. Le signe « ✓» indique que la p-value calculée est inférieure à 0,05, donc une différence significative. 46
Tableau 14 : Évaluation du potentiel du LIDAR terrestre en regard des différents descripteurs relevés "à la main" sur le terrain 48

Remerciements

Je souhaitais tout d'abord remercier Jean-Jacques Boutteaux pour sa disponibilité, son suivi et ses précieux conseils au cours de mes six mois de stage. Je le remercie pour toutes les connaissances sur les cigognes noires qu'il m'a partagées, en particulier je le remercie pour m'avoir fait participer à une opération de comptage, mais également pour son expertise d'un point de vue forestier qu'il m'a toujours apportée.

De plus, je souhaite remercier Damien Chevallier, mon maître de stage, pour m'avoir donné la chance de participer à ce projet. Il m'a en particulier soutenue et conseillée lors de la rédaction du présent mémoire.

J'ai rencontré un grand nombre de personnes grâce à ce stage, que j'aimerais toutes remercier. Je pense surtout aux rencontres lors de ma campagne terrain, pendant laquelle j'ai sollicité l'aide de forestiers et même anciens-forestiers : Jérôme Bernard, Daniel Dupuy, Vincent Berlan, Pierre Gathelier, Sylvain Urion, Gervais Duc, Catherine Bernardin, Alexis Bresson, Pascal Lory, Jean-Jacques Limoges, Roch Lemoine, Serge Coine, Charles Papageorgiou et Jean-Luc Dessolin. Je les remercie pour leur aide précieuse, le partage des anecdotes des sites caractérisés et bien sûr leurs connaissances sur l'oiseau et son milieu.

Je remercie également Paul Brossault et Frédéric Chapalain, toujours disponibles et réactifs pour répondre à mes questions sur les sites de nidification et la cigogne noire en général.

Je tiens aussi à remercier Alexandre Piboule pour la formation qu'il m'a donnée sur le LIDAR terrestre. Très intéressé par le sujet, il m'a permis de voir et comparer mon travail sous l'angle de la technologie de précision. Cette formation a été très enrichissante.

Je voulais adresser un grand merci à toute l'équipe du service bois de Langres. J'englobe bien sûr ici toutes les personnes que je voyais tous les jours au bureau. Je les remercie chaleureusement pour leur accueil, dès le début ; c'est un service qui travaille dans la bonne humeur et qu'il me peine de quitter.

Enfin, parce que ce sont eux qui connaissent tout de ce stage et que je pense ne pas avoir assez remerciés : merci à mes parents et ma sœur de m'avoir soutenue à chaque étape !

Index alphabétique des sigles et abréviations

ACP : analyse en composantes principales
AFI : association futaie irrégulière
AFM : analyse factorielle multiple
BM : bois moyens
CAH : classification ascendante hiérarchique
CNRS : centre national de la recherche scientifique
CRBPO : centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux
DHP : diamètre à hauteur de poitrine
FC : forêt communale
FD : forêt domaniale
FP : forêt privée
FS : forêt syndicale
GB : gros bois
GPS : global positioning system
GRECO : grande région écologique
IFN : inventaire forestier national
IGN institut géographique national
LPO : ligue pour la protection des oiseaux
MNHN : muséum national d'histoire naturelle
ONF : office national des forêts
PB : petit bois
SER : sylvoécorégion
TGB : très gros bois
TSF : taillis sous futaie
UICN : union internationale pour la conservation de la nature

1. Introduction et contexte de l'étude

1.1. Éléments de contexte : la sélection d'habitats chez les oiseaux

1.1.1. Sélection d'habitats chez les oiseaux

La sélection d'un habitat spécifique assure de façon vraisemblable une perspective plus certaine pour la survie d'un individu, qu'un choix aléatoire. La notion de sélection, qui exprime une préférence opérée par un choix, est fréquemment abordée dans les études menées sur les oiseaux. Leurs préférences en termes d'habitat, c'est-à-dire, un espace géographique caractérisé par ses facteurs biotiques et abiotiques (Muséum national d'Histoire naturelle, 2003-2018), se traduisent globalement par l'accessibilité à la ressource trophique et la capacité à se protéger contre les prédateurs ainsi que les conditions météorologiques défavorables (Alonso et al., 1991).

Toutefois, la sélection correspond à un processus hiérarchique complexe faisant intervenir des comportements innés et acquis par un individu sur un habitat, à différentes échelles de l'environnement (Hutto, 1985). En effet, le secteur géographique auquel l'oiseau est inféodé au début de son existence influence considérablement, dans un premier temps, le choix de l'habitat à grande échelle (Hutto, 1985). De façon adjacente, l'héritage ancestral de choix évolutifs efficaces se révèle chez un individu par des décisions innées, en particulier dans la sélection d'un habitat dans une vaste zone géographique également (Hutto, 1985). Ces deux premiers facteurs sont donc innés et respectivement issus de la mémoire à long terme de l'oiseau, mais également de sa mémoire génétique. L'expérience de l'individu intervient ultérieurement dans le choix à une échelle plus locale (Hutto, 1985).

Ce mécanisme sélectif expliquerait deux aspects essentiels dans la sélection de l'habitat chez les oiseaux : la raison pour laquelle l'individu est présent dans un certain panel d'habitats, ainsi que la nature des indices qu'il utilise comme descripteurs d'un habitat adapté, c'est-à-dire, les éléments du milieu qui ont déclenché le choix du site (Hutto, 1985). Ces deux questionnements conduisent à une dualité dans les déterminants de la sélection de l'habitat qui se distinguent respectivement en facteurs ultimes et en facteurs immédiats. Les facteurs ultimes renvoient aux coûts et bénéfices induits par le choix d'un habitat et correspondent essentiellement à la disponibilité de la ressource trophique, aux exigences écologiques de l'espèce et à la possibilité de se protéger des prédateurs et des intempéries (Hildén, 1965 ; Hutto, 1985). En d'autres termes, la survie et le succès reproducteur sont régis par les facteurs ultimes ; ils constituent les raisons pour lesquelles l'individu est présent dans un habitat donné. Les facteurs immédiats renvoient davantage à des stimuli environnementaux, en particulier à des caractéristiques du paysage, du sol, des sites pour le chant, l'emplacement du nid, la prospection et à la présence d'autres animaux (Hildén, 1965). Ces derniers guideraient donc l'image de recherche qu'un oiseau utilise pour sélectionner un habitat ; ils renvoient aux indices utilisés par l'individu pour réaliser le choix de l'habitat et complètent les facteurs immédiats (James, 1971). L'effet combiné de ces déterminants, variable d'un individu à un autre, conduit au choix de l'habitat (Hildén, 1965).

1.1.2. Enjeux des sites de reproduction

Parmi le panel de sites potentiellement utilisables par un oiseau, il est possible d'en distinguer deux types. La particularité de l'avifaune dont un nombre considérable d'espèces présente une phase migratoire implique une dimension à caractère très fonctionnel des habitats sélectionnés. En effet, cette phase sépare une période d'hivernage d'une période de reproduction ayant lieu dans des milieux différents, souvent distants de plusieurs milliers de kilomètres. Concernant l'habitat de nidification, l'enjeu majeur est d'assurer la survie et le bon développement des poussins. Dès lors, la sélection d'un site offrant des caractéristiques compatibles avec le bon développement des œufs et l'éclosion de poussins viables est primordiale. En particulier, la vulnérabilité des œufs et des poussins ont mené les oiseaux à élaborer, au cours de l'évolution,

des nids spécifiques aptes à la protection de leur progéniture, quel que soit l'écologie de l'espèce (Collias, 1964). Les caractéristiques des nids, en particulier le site sélectionné pour leur emplacement, diffèrent selon l'espèce, et dépendent de variables telles que le niveau de dépendance des poussins à la naissance, des matériaux disponibles pour leur élaboration, du comportement des parents lors de l'incubation, de la pression exercée par les prédateurs sur le territoire ou encore de la concurrence inter et intra-spécifique (Collias, 1964).

Dans ce contexte, la connaissance des sites de reproduction et de nidification est ainsi devenue un enjeu de conservation majeur. En effet, ces milieux sont d'une importance considérable puisque leur fonction est d'assurer le bon développement de jeunes représentants d'une espèce, et donc sa pérennité. Dans ce but, des protocoles de suivi de populations ou encore des mesures de gestion adaptées ont pu être mis en place sur ces sites. Diverses études portant sur ces sujets ont été réalisées, aussi bien pour des passereaux nicheurs en milieu viticole avec des problématiques d'intensification des pratiques (Assandri et al., 2016), que pour des oiseaux nécrophages tels que les vautours fauves dans l'évaluation du succès reproducteur d'une colonie (Freund et al., 2017). D'autres espèces telles que la cigogne noire, *Ciconia nigra*, présentent également de forts enjeux de conservation et se prêtent à ce type d'études.

1.2. Écologie, statut et enjeux de conservation de la cigogne noire

1.2.1 Distribution et statut de la cigogne noire

La cigogne noire est un échassier du paléarctique essentiellement forestier au cours de la reproduction, présent à la fois en Europe, Afrique et Asie. L'Europe et le nord de la Russie constituent les aires de reproduction majeures de l'espèce entre les mois de février et juillet (Anonyme, 2008). A partir du mois d'août, les individus d'Europe de l'Ouest partent en migration et empruntent le détroit de Gibraltar pour rejoindre les zones d'hivernage situées entre la Mauritanie et le Nigéria, alors que les individus d'Europe de l'Est empruntent le détroit du Bosphore pour se rendre sur les zones d'hivernage situées entre le Cameroun et l'Éthiopie (Anonyme, 2008 ; Chevallier et al., 2010a ; Jadoul et al., 2003).

L'espèce compterait une population mondiale comprise entre 24 000 et 44 000 individus, cet effectif lui conférant, à cette échelle, le statut de « préoccupation mineure » (LC) dans la liste rouge de l'UICN (Birdlife International, 2017). Au niveau européen, l'espèce possède le même statut, la population étant comprise entre 19 500 et 27 800 individus (Birdlife International, 2015). Toutefois, la cigogne noire est mentionnée dans l'annexe I de la Directive Oiseaux ; elle fait donc l'objet de mesures de conservation concernant son habitat dans le but d'assurer sa survie, ainsi que son succès reproducteur, dans son aire de répartition (Journal Officiel de l'Union européenne, 2010). En France, elle est classée comme espèce vulnérable (VU) dans la liste rouge des oiseaux non nicheurs de France métropolitaine en 2011 et classée « en danger » (EN) dans la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine en 2016 (Muséum national d'Histoire naturelle, 2003-2018). Bien que l'espèce ne soit pas considérée comme menacée d'extinction de façon majeure à l'échelle mondiale, ceci dû au manque d'informations précises sur les effectifs, elle fait néanmoins l'objet de préoccupations majeure à des échelles plus locales. La population française, estimée entre 30 et 60 couples nicheurs (Denis et Brossault, 2016), est protégée par l'arrêté du 17 avril 1981 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire (Journal Officiel de la République Française, 2009).

L'effectif des cigognes noires s'explique en particulier par l'aire de distribution passée de l'oiseau. L'espèce est citée comme étant de passage au cours du 19^{e} siècle jusque dans les années 60 (Denis et Brossault, 2016). En parallèle, à la fin de cette période, les effectifs s'accroissant rapidement en Espagne et dans les pays de l'Est ont mené à des observations accrues de migrateurs en France, avec des escales de plus en plus prolongées sur le territoire (Jadoul, 1994 ; Jadoul, 2000 ; Pojer, 2003 ; Denis et Brossault, 2016). C'est dans ce contexte qu'aboutit la première nidification de cigognes noires en France en 1973, dans la

région Centre-Val de Loire (Denis et Brossault, 2016). L'installation de l'oiseau nicheur sur le territoire fut progressive ; on est ainsi passé d'un département en 1973 à vingt départements en 2010 situés dans la partie nord du territoire qui ont accueilli au moins une nidification (Denis et Brossault, 2016, fig. 1).

Bien que des tendances positives dans l'évolution des populations d'Europe de l'Ouest aient été relevées, les effectifs en Europe de l'Est restent stables ou tendent à diminuer, en particulier avec l'intensification de l'industrie forestière dans ces pays (Strazds, 2003a). En effet, malgré son statut de protection dans la plupart des pays situés dans son aire de répartition, des menaces peuvent compromettre la reproduction ainsi que la survie des poussins et des adultes. Le dérangement lié à la fréquentation humaine ou aux travaux forestiers, la dégradation des habitats (sur les zones de reproduction et d'hivernage), en particulier les zones humides qui constituent les principales zones de gagnage de l'espèce, les tirs illégaux ou encore les accidents liés au réseau de lignes électriques sont autant de causes majeures de mortalité (Jadoul, 1994).

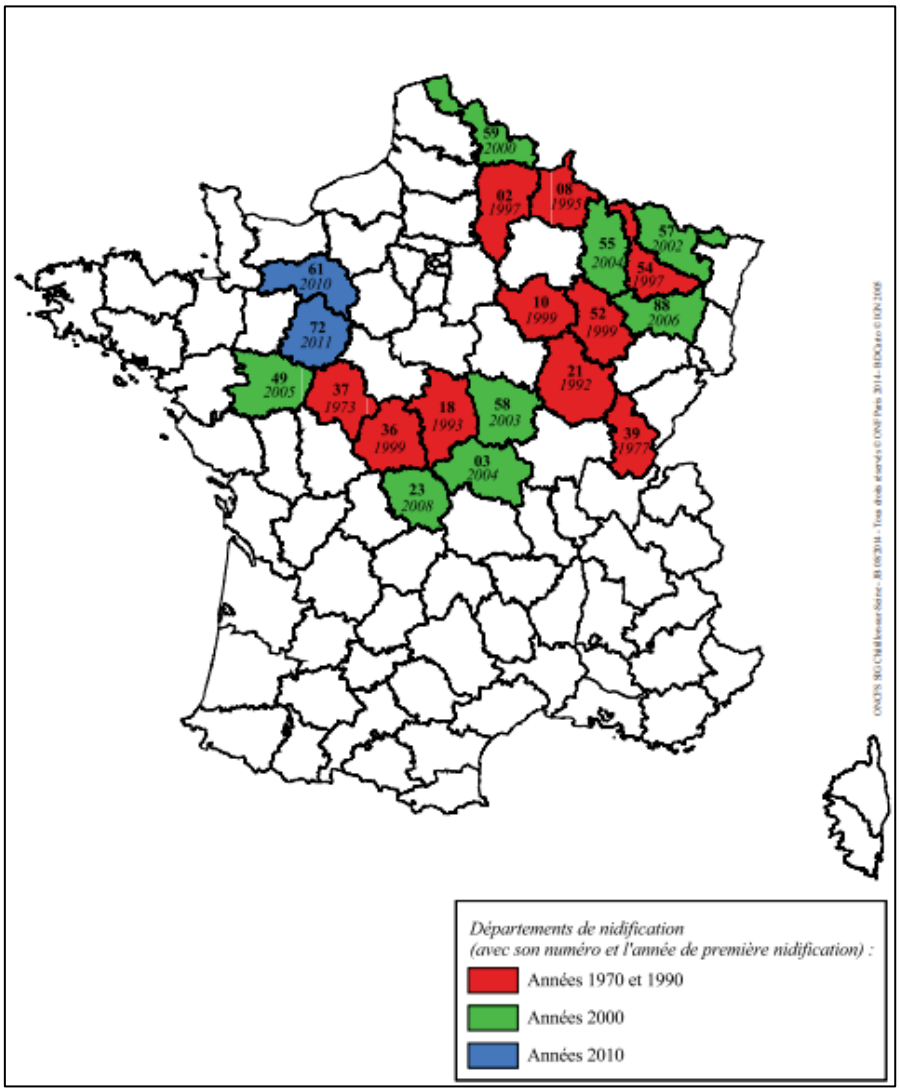


Figure 1 : Année de la découverte de la première nidification de cigogne noire par département (Denis et Brossault, 2016)

1.2.2 La cigogne noire, espèce indicatrice pour le bilan patrimonial des forêts domaniales de l'ONF

Dans ce contexte de recolonisation d'une espèce nicheuse en France inféodée aux milieux forestiers, qui de plus, présente de forts enjeux de conservation, la cigogne noire a été sélectionnée comme espèce indicatrice pour le bilan patrimonial des forêts domaniales métropolitaines de l'Office National des Forêts (ONF). Ce bilan permet de rendre compte de l'état des forêts domaniales dans leurs fonctions économiques, écologiques et sociales et d'observer les améliorations ou dégradations du patrimoine géré, en particulier en regard des interventions et travaux forestiers pratiqués (ONF, 2016).

La cigogne noire, par sa présence, permet d'évaluer la qualité des écosystèmes forestiers et aquatiques qu'elle utilise pour respectivement nicher et se nourrir. En particulier, elle est liée, en France, aux ruisseaux de bonne qualité et cours d'eau de catégorie piscicole 1 (Pruvost et al., 2016).

Dès lors, dans le cadre de ce bilan patrimonial, la cigogne noire bénéficie de mesures de conservation telles que la prise en compte du site de nidification dans les itinéraires forestiers, la conservation des arbres porteurs de nids et de leur environnement immédiat. Des opérations telles que le baguage, la surveillance des nids, le suivi des couples nicheurs, le suivi satellitaire au cours de la migration et de l'hivernage (Europe, Afrique) sont menées de concert avec l'objectif de conservation (ONF, 2016). Ces actions sont assurées par le réseau national cigogne noire de l'ONF, rattaché au réseau avifaune de l'office, et en collaboration avec, en particulier, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO), le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) et le Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO).

Figure 2 : Opération de baguage au nid de jeunes cigogneaux noirs, source : C. Magot, mai 2018.

1.3. Problématisation et résultats attendus

1.3.1. État des connaissances sur les sites de nidification chez la cigogne noire

Au cours des dernières décennies, les études menées sur les sites de nidification chez la cigogne noire ont abouti à une meilleure connaissance des critères de sélection de l'habitat par l'espèce. Si les sites de nidification sont définis en premier lieu par leur caractère fonctionnel, ils ont pu être décris sous plusieurs échelles, du nid lui-même à son environnement proche.

De façon générale, le peuplement forestier choisi serait préférentiellement mâture et peu dense, de manière à favoriser les accès au nid par de potentiels corridors aériens, mais présentant un sous-bois d'une certaine densité permettant la dissimulation effective du nid (Augutis et Sinkevicius, 2005 ; Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016).

Concernant l'arbre porteur de nid, si des essences telles que le chêne, le hêtre et le pin maritime sont choisies dans la plus grande partie des cas, de nombreuses autres essences ont pu accueillir des nids. En effet, l'arbre est choisi en fonction des qualités de support qu'il offre pour le maintien et la pérennité d'un nid (Augutis et Sinkevicius, 2005). Les nids de cigognes noires, souvent imposants, se présentent généralement sur une fourche ou dans l'axe du tronc, emplacements assurant vraisemblablement la stabilité de la structure (Baeta et al., 2016). L'arbre porteur du nid, souvent l'un des plus grands et des plus âgés du peuplement (généralement plus de cent ans) d'une hauteur d'environ 20 mètres (Jadoul, 1994 ; Lohmus et Sellis, 2003 ; Augutis et Sinkevicius, 2005) se situe fréquemment à proximité d'un plateau ou en rupture supérieure de pente, avec une exposition Sud ou Sud-Est (Jadoul et Cabaret, 2003).

Les études portant plus précisément sur le nid montrent qu'il se situe généralement à quelques dizaines de mètres du sol, distant du tronc d'environ un mètre, sur une fourche formée par des branches latérales (Jadoul, 2000). Cet emplacement offre plus de facilités pour l'accès au nid, l'envol et la détection de prédateurs accédant au nid par le tronc, que celui où le nid se situe dans l'axe du tronc (Jadoul, 1994 ; Jadoul, 2000). De plus, les nids se trouvent préférentiellement en lisière de massifs, à proximité de milieux ouverts tels que les prairies, les mares, les fossés et en particulier les têtes de ruisseaux (Jadoul, 2000 ; Jadoul et Cabaret, 2003 ; Baeta et al., 2016). Cet emplacement permet de simplifier les déplacements entre les zones

de gagnage et le site de nidification, en particulier durant la période de nourrissage des poussins durant laquelle les allées et venues s'intensifient au cours de leur développement (Jadoul, 2000).

Le site de nidification se situe généralement à distance des lieux d'activités et de fréquentation d'origine anthropique ; très peu de nids se trouvent à moins de 500 mètres de routes permanentes, de voies ferrées ou d'habitations, alors que ces distances diminuent, par exemple, pour des routes moins empruntées (Jadoul, 1994 ; Augutis et Sinkevicius, 2005). Ces oiseaux sont très discrets et sensibles au dérangement qui peut être une cause d'abandon du nid, en particulier lorsque le dérangement est de nature anthropique, et même sylvicole (Jadoul, 1994 ; Augutis et Sinkevicius, 2005). De plus, le caractère territorial de l'espèce a pu être observé en Lettonie et en Grèce où des nids appartenant à des couples différents sont généralement distants de plusieurs kilomètres, le nid présentant le meilleur succès reproducteur étant souvent le plus isolé (Jadoul, 1994 ; Strazds et al., 2003 ; Alexandrou et al., 2016). Ces distances sont toutefois très variables (Strazds et al., 2003 ; Alexandrou et al., 2016).

1.3.2. Problématisation et objectifs du stage

L'ensemble des résultats et études présentés précédemment ont permis d'aborder l'échelle du micro-habitat, c'est-à-dire, le nid ou l'arbre de nidification, ainsi que l'échelle du paysage. Or, l'échelle du macro-habitat, soit les environs de l'arbre porteur de nid ou le peuplement forestier à proximité, a rarement été abordé. De plus, les études portant sur les habitats à différentes échelles spatiales à la fois sont peu nombreuses. Elles offrent pourtant une meilleure vision de l'image de recherche et du niveau de sélection de l'habitat (Buler et al., 2007). En effet, ces différents niveaux d'habitats, bien que distincts, sont indissociables par les échanges et les connexions qui s'établissent entre eux. Ce type d'études a toutefois été réalisé sur des passereaux migrateurs du néarctique et du néotropique aux États-Unis. Une première sélection de l'habitat est visiblement initiée avant l'atterrissage par ces oiseaux, pendant qu'ils survolent le site (Buler et al., 2007). Dans l'hypothèse d'application de ce résultat à la cigogne noire, une première sélection réalisée à une certaine échelle pourrait expliquer la souplesse observée dans les autres critères de sélection de l'habitat de nidification. L'image de recherche de l'habitat des cigognes noires fonctionnerait probablement à une échelle spécifique dans un premier temps, de façon prioritaire sur d'autres critères. En effet, bien que plusieurs critères aient été identifiés par les études, il semble exister une très grande variabilité dans les caractéristiques des sites mis à profit pour la reproduction de l'espèce (Jadoul, 1994 ; Baeta et al., 2016).

En outre, cette variabilité semble avoir suivi une évolution. En effet, si l'espèce avait tendance à nicher dans de vastes massifs forestiers à dominance de feuillus lors de son retour en Europe de l'Ouest, celle-ci semble avoir progressivement élargi son panel d'habitats utilisables en nichant au sein de petits massifs, parfois même sur des arbres isolés en zone agricole, de composition variable (Jadoul, 2000 ; Jadoul et Cabaret, 2003 ; Jiguet et Villarubias, 2004). En Espagne, Autriche et Asie centrale, l'espèce niche également sur des falaises, ce qui semble témoigner d'un certain opportunisme, à nuancer toutefois, de la part de l'oiseau dans ses choix de sites de nidification (Jadoul, 1994).

De plus, un fort contraste est observé entre les degrés d'exigences sur les sites de nidification et les sites d'hivernage des cigognes noires. Tandis que les aires de reproduction requièrent des paramètres hautement sélectifs tels que la présence d'un réseau dense de cours d'eau de bonne qualité ou encore la nécessité d'une certaine quiétude (Pruvost et al., 2016), les aires d'hivernage sont caractérisées par une certaine proximité aux activités d'origine anthropique puisque beaucoup de sites se trouvent dans des zones agricoles, avec un réseau de mares souvent isolées et troubles (Chevallier et al. 2008, 2010b, 2010c). Ainsi, bien que de grandes variations dans les caractéristiques des sites de nidification aient été constatées, l'oiseau affine effectivement ses critères de sélection pour le choix d'un site dans son aire de reproduction.

Ce stage s'inscrit donc dans le contexte d'une espèce protégée bénéficiant d'un suivi de population considérable (suivi de la reproduction, baguage des poussins), mais dont aucune étude précise de l'habitat de

nidification mêlant plusieurs échelles d'approche, et en particulier le macro-habitat, n'a été réalisée jusqu'à présent sur le continent. Il s'agit ainsi d'un stage de type recherche, de format expérimental qui tentera de répondre à plusieurs questions concernant la complexité observée dans la sélection du site de nidification par la cigogne noire : ***i)*** comment est-il possible de caractériser les sites de nidification chez la cigogne noire en France, ***ii)*** peut-on prédire à minima des zones favorables à la nidification de la cigogne noire et, ***iii)*** quelles stratégies faudrait-il mettre en place en termes de gestion forestière sur des sites de nidification avérés voire potentiels. L'élaboration et la mise en œuvre d'un protocole de caractérisation des sites sont les points majeurs du stage. Les deux axes principaux de la réflexion, qui constituent les deux grands objectifs de cette étude, sont les suivants :

- Identifier dans un premier temps les facteurs immédiats influençant la sélection du site de nidification chez la cigogne noire.

- Dans un second temps, identifier l'échelle d'habitat à laquelle la sélection, l'image de recherche, fonctionne.

L'étude, portant sur une vaste zone géographique du territoire français, vise donc à quantifier et affiner les préférences d'habitat de nidification en milieu forestier de l'espèce avec une approche multi-échelle allant du macro-habitat – le peuplement forestier aux environs du nid –, au micro-habitat – l'arbre porteur du nid. Cette approche en entonnoir adopte le comportement de l'oiseau de retour de migration prénuptiale et prospectant pour identifier un site de nidification adapté à ses besoins. Les résultats pourront éventuellement conduire à des propositions en termes de gestion forestière favorisant l'accueil de l'espèce en période de reproduction. De même, les facteurs dont le rôle est significatif dans le processus de sélection permettront probablement d'optimiser les prospections en identifiant de potentiels sites de nidification à partir des facteurs retenus. Dans ce sens, il est possible que davantage de nids soient découverts, ce qui garantirait une gestion adaptée de ces sites afin d'assurer leur protection dont l'enjeu pour la conservation de la cigogne noire est considérable.

2. Matériel et méthode

2.1. Préparation à la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire

2.1.1. Démarche générale, introduction à la méthode

L'étude des sites de nidification de la cigogne noire implique l'élaboration d'un protocole de caractérisation des sites. La caractérisation est une notion très large, conditionnée par un compromis en termes de coûts, de temps, de technicité et d'efficacité, ce qui la rend étroitement dépendante du sujet des relevés et des moyens disponibles. Dans le cadre d'un stage de fin d'études d'une durée limitée, la description des sites correspond à une méthode adaptée à ces conditions, mais qui devrait être reproductibles à d'autres sites et problématiques.

La priorité porte ainsi sur la caractérisation des arbres porteurs de nid et de leur environnement proche. Afin de réaliser cette caractérisation, la démarche présentée ci-après a été suivie.

Dans un premier temps, le sujet d'étude a été redéfini de manière à préciser les caractéristiques globales des habitats ciblés. Cette définition du sujet d'étude était nécessaire pour établir des descripteurs adaptés aux sites étudiés et ensuite pouvoir réaliser des analyses pertinentes. Ainsi, des descripteurs portant sur la localisation, l'historique, la topographie, la composition ou bien la structure du site ont été sélectionnés à partir de méthodes de suivi mis en œuvre par le réseau national cigogne noire, de recherches bibliographiques, mais également d'échanges avec les collaborateurs du stage ; experts forestiers et ornithologues. Certains descripteurs, sélectionnés dans un premier temps, ont évolué dans un souci de praticité lors de la campagne de terrain. La liste d'descripteurs résultante s'attache à décrire un panel de paramètres aussi large que possible. Un protocole de terrain a ensuite été rédigé à partir de la liste complète des descripteurs retenus, s'appuyant également de méthodes explicitées dans la bibliographie et de l'expertise des partenaires du stage.

La phase de terrain, représentant une durée totale de 20 jours entre le 07 mai et le 04 juillet, a permis la récolte des données nécessaires à la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire. Certains descripteurs ont éventuellement pu être modifiés au début de cette phase, de façon à ce qu'ils soient davantage adaptés au format des relevés. Les données récoltées, stockées dans une base de données régulièrement mise à jour au fur et à mesure des relevés, ont été analysées à l'aide de logiciels tableurs et statistiques et ont permis d'aboutir aux principaux résultats de l'étude.

2.1.2. Définition du sujet d'étude : les sites de nidification chez la cigogne noire

Le sujet des relevés correspond aux sites de nidification chez la cigogne noire. Cependant, dans un contexte où l'oiseau semble élargir son panel d'habitats investis pour la reproduction, se pose la question des grands types de sites de nidification à aborder pour l'étude. En effet, plusieurs cas de nidification ont été observés en milieu ouvert et en falaise, en particulier dans d'autres pays tels que l'Espagne ou l'Autriche (Jadoul, 1994). Néanmoins, ces sites de nidification restent exceptionnels en France, c'est pourquoi l'étude se focalise sur les sites de nidification forestiers, majoritaires sur le territoire, avec un nid construit dans un arbre.

L'étude visant à aborder différentes échelles de l'environnement d'un nid de cigogne noire, deux échelles principales sont abordées dans l'étude : l'échelle du micro-habitat, correspondant essentiellement à l'arbre porteur de nid, et le macro-habitat, correspondant au peuplement forestier environnant dans une placette à rayon fixe de 30 m. Il s'agit d'un type de placettes adapté pour décrire un site et en cohérence avec les relevés forestiers réalisés par l'ONF dans le secteur haut-marnais, ceci dans une perspective de comparaison des données. L'échelle du paysage, plus large, est également abordée dans l'étude.

2.1.3. Les descripteurs retenus pour la caractérisation des sites

Les descripteurs sélectionnés pour réaliser l'étude de caractérisation des sites de nidification de la cigogne noire sont décrits à partir des tableaux suivants, regroupés par échelle d'application. Les troisièmes et quatrièmes colonnes des tableaux renseignent une hiérarchie dans l'importance accordée aux descripteurs, respectivement d'un point de vue scientifique, en lien avec l'apport en connaissances recherché, et pratique, en lien avec les moyens techniques déployés. Au total, 84 descripteurs décrivent l'environnement d'un nid de cigogne noire.

Les descripteurs sont issus de diverses sources, en particulier, le bordereau de description des sites de nidification est un premier outil sur lequel se base l'élaboration de la liste suivante (fig. 3). Ce bordereau fut réalisé en concertation avec les bagueurs du CRBPO, le Muséum national d'histoire naturelle et le réseau national cigogne noire de l'ONF, dans le cadre des opérations de baguage au nid des jeunes cigogneaux. Sur ce document figurent diverses informations à compléter par les bagueurs concernant en particulier la situation du site, les caractéristiques de l'arbre porteur ainsi que du nid (fig. 3). Cette description des sites de nidification lors des opérations de baguage est systématisée et structurée depuis 2008, bien que des données similaires fussent régulièrement collectées antérieurement. Les bordereaux ont également évolué et été adaptés jusqu'en 2018, année pour laquelle une partie du bordereau est issue des descripteurs présentés ci-après. Les données issues de ces bordereaux n'ont toutefois jamais été analysées.

Bordereau de baguage au nid, programme national Cigognes noires

AGIR pour la BIODIVERSITÉ — Office National des Forêts — CRBPO Muséum national d'histoire naturelle

INFORMATIONS RELATIVES AU NID :

DEPARTEMENT :		
COMMUNE :		
Facultatifs, non transmis en cas de relecture, utilisés pour distinguer les différents nids	LIEU-DIT :	
	LONGITUDE :	
	LATITUDE :	
Profil du terrain		
Exposition de la pente (N, NE, E, SE, S, …)		
Régime forestier : (ONF / privée)		
Peuplement forestier		
Distance à la route la plus proche		
Distance au chemin le plus proche		
Sentier le plus proche		
Ruisseau ou source les plus proches		
Habitation la plus proche		
Distance à la lisière forestière		

Essence de l'arbre	
Hauteur de l'arbre	
Diamètre de l'arbre à 1,3 mètre	
Age estimé	
Etat sanitaire	
Hauteur du nid par rapport au sol	
Distance du centre du nid au tronc	
Diamètre du nid	
Epaisseur du nid	
Nombre de couches de mousse	
Œufs clairs ?	
Nombre de poussins	
Contenu du nid (poissons, ficelles, …)	

Auteur de la fiche	
Téléphone	
Mail	

Frédéric CHAPALAIN, Luc STRENNA, Paul BROSSAULT, Nicolas GENDRE 28/05/2017

Figure 3 : Modèle de bordereau de baguage au nid de cigognes noires

Mise en contexte du site de nidification étudié

Tableau 1 : Descripteurs de contexte des sites de nidification

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Contexte, historique	Localisation	Code du nid	1	Indépendant du terrain
		Grande Région Écologique (GRECO)		
		Sylvoécorégion (SER)		
		Région dans laquelle se trouve le site		
		Département dans lequel se trouve le site		
		Commune dans laquelle se trouve le site		
		Lieu-dit dans lequel se trouve le site		
	Forêt	Nom de la forêt dans laquelle se trouve le site		
		Propriété forestière		
		N° de parcelle forestière dans laquelle se trouve le nid		
	Coordonnées GPS	Coordonnées du site, X		1
		Coordonnées du site, Y		
	Historique	Nombre moyen de jeunes bagués par nichée sur le site		Indépendant du terrain
		Nombre d'années d'occupation certaine du site		
		Années d'occupation		
		Age des cigognes nicheuses sur le site		

Ces premiers descripteurs, au nombre de 16 et majoritairement qualitatifs, sont indispensables à l'étude. Ils permettent de localiser le site de façon claire et précise, mais également d'en connaître rapidement l'historique en termes d'occupations. L'descripteur « code du nid » (tableau 1), spécialement créé à cet effet, est construit sous la forme suivante : « nom de la forêt / n° de parcelle / n° du nid au sein de la forêt (croissant par année de découverte) / nombre d'années d'occupation à la date du relevé / année du relevé » et permet ainsi d'identifier le site. Il s'agit d'un descripteur évolutif qui pourra éventuellement être incrémenté chaque année.

Les grandes régions écologiques (GRECO) et les sylvoécorégions (SER) (tableau 1) sont des descripteurs issus de l'Inventaire Forestier National (IFN) et constituent une partition écologique et forestière récente du territoire (IGN, 2018). Elles complètent la partition administrative par les régions et départements.

L'descripteur portant sur la propriété forestière (tableau 1) permet de rendre compte de la pression d'observation exercée pour les différentes modalités (forêt domaniale, forêt communale, forêt syndicale et forêt privée), en vue notamment d'orienter les prospections vers les propriétés les moins explorées.

Le nombre moyen de jeunes par nichée sur le site (tableau 1) est une variable étudiée récemment chez les mésanges bleues. Ce nombre moyen serait fonction du site de nidification sélectionné, assurant, par ses caractéristiques, de bonnes conditions de croissance et de survie des oisillons (Boukhedim *et al.*, 2018). C'est dans cette optique d'évaluation de l'adéquation du site au bon développement de jeunes cigognes noires que cet descripteur est sélectionné. De plus, les individus retenus par cet descripteur étant des juvéniles bagués, ils constituent donc une base de données certaine concernant le succès reproducteur.

Dans la même logique, le nombre d'années d'occupation (tableau 1) renseigne sur le succès du site, et donc ses potentielles qualités en tant que site adapté pour la reproduction de la cigogne noire. Cet descripteur, étudié sur plusieurs espèces, est révélateur de différences interspécifiques (Court et al., 1988 ; Galipeau, 2016 ; Therrien et al., 2015). Toutefois, les densités de population ainsi que l'accès à la ressource alimentaire sont des facteurs à prendre en compte dans l'interprétation de ces résultats (Maurice et Strenna, 2008). Cet descripteur pourra éventuellement permettre d'affiner le comportement sélectif de la cigogne noire au regard des sites de nidification utilisés, occupés en moyenne entre trois et quatre fois par l'oiseau (Baeta et al,. 2016). Cependant, cet descripteur risque d'être sous-estimé, celui-ci n'étant évalué qu'à partir

de l'année de découverte du site. Il sera également possible de constater de la continuité ou non de l'occupation des sites par ces oiseaux.

Enfin, l'âge des cigognes nicheuses (tableau 1) est un paramètre ne pouvant être connu avec précision que pour les individus bagués au nid. Cet descripteur, souvent rencontré dans la bibliographie, permet d'évaluer l'effet de l'expérience d'un individu sur des paramètres impliqués, par exemple, dans le choix d'un habitat. Il a ainsi pu être montré que la présence d'oiseaux plus âgés au sein d'un groupe en migration induisait des choix d'itinéraires et de sites plus adaptés à leurs besoins (Teitelbaum et al., 2016). L'âge des cigognes étudié correspond ainsi à l'âge que les cigognes avaient lors de leur première nichée sur les sites étudiés ; il s'agit de l'âge auquel les cigognes ont fait le choix du site.

Descripteurs paysagers

Tableau 2 : Descripteurs abordant l'échelle du paysage, facteurs extrinsèques au site de nidification

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Paysage - facteurs extrinsèques	Sources de perturbations potentielles	Distance du nid à la route ouverte à la circulation très fréquentée la plus proche (en m)	1	Indépendant du terrain
		Distance du nid à la route ouverte à la circulation peu fréquentée la plus proche (en m)		
		Distance du nid aux circuits de randonnée, pistes cyclables les plus proches (en m)		
		Distance du nid à la route forestière fermée à la circulation donnant sur le site (en m)		
		Position du nid par rapport aux cloisonnements	2	3
		Distance du nid à la ligne de parcelle la plus proche (en m)		Indépendant du terrain
		Distance du nid à l'habitation la plus proche (en m)	1	
		Estimation du nombre d'habitants dans la ville la plus proche du site		
		Distance du nid au nid occupé simultanément le plus proche (en km)		
	Accès aux potentielles aires de gagnage	Position du nid par rapport aux têtes de bassin versant	2	
		Distance au cours d'eau permanent le plus proche (en m)		
		Distance à l'étendue d'eau stagnante la plus proche (en m)		
		Distance du nid à la lisière du massif la plus proche (en m)	1	
		Surface du massif au sein duquel se trouve le site (en ha)		

Le tableau ci-dessus permet de renseigner les distances minimales entre le nid et divers éléments du paysage aux abords des zones de nidification. Plus vaste échelle décrite par l'étude, le niveau du paysage présente 14 descripteurs dont la très grande majorité est quantitative. Une dichotomie dans ces descripteurs distingue dans un premier temps ceux ayant un impact potentiellement négatif pour l'élaboration d'un nid dans un environnement proche des entités décrites (9 descripteurs), de ceux portant sur des entités potentiellement attractives

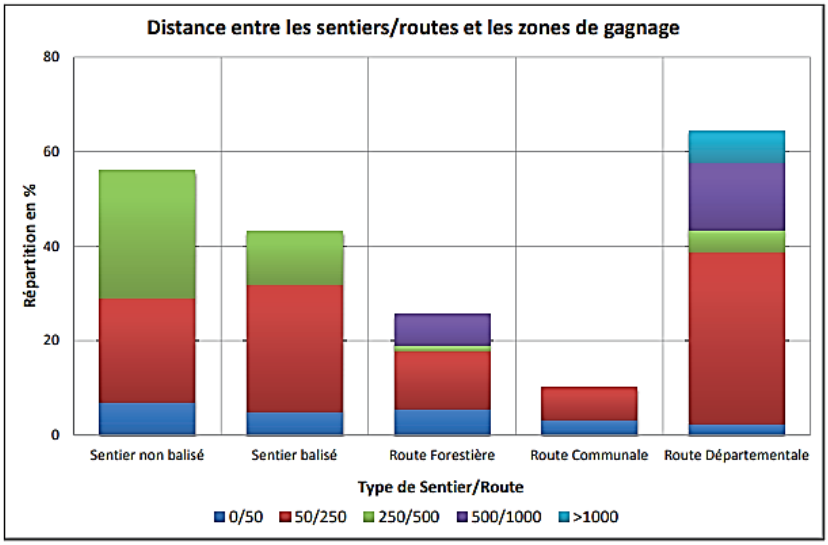


Figure 4 : Répartition de la cigogne noire en fonction de la fréquentation de la route et du sentier, n = 89 (Pruvost et al., 2016)

(5 descripteurs). La quasi-totalité de ces descripteurs est relevée après la phase de terrain via des logiciels de cartographie.

Une étude récente sur les zones de gagnage a montré que les cigognes noires ont tendance à éviter les zones proches des voies de circulation fréquentées par les randonneurs et les véhicules (Pruvost et al., 2016). Au contraire, les petits cours d'eau proches de routes forestières peu fréquentées, et donc de la forêt, sont beaucoup utilisés par l'oiseau (Pruvost et al., 2016). Néanmoins, les routes très fréquentées ne représentent pas toujours un frein à la présence de la cigogne noire. En effet, les véhicules roulant à vitesse constante sont visiblement moins perturbateurs pour l'oiseau que des véhicules ralentissant ou s'arrêtant (Pruvost et al., 2016). La cigogne noire semblerait donc s'habituer à une perturbation anthropique constante ou régulière, les perturbations ponctuelles et inhabituelles représentant *a priori* les sources de dérangement majeures.

Dès lors, les descripteurs paysagers ont été définis à partir de ces résultats. Des tendances similaires pourraient être décrites pour les sites de nidification. Les routes ouvertes à la circulation, elles-mêmes différenciées en routes très fréquentées et peu fréquentées (tableau 2) selon la légende des cartes au 1/25 000 de l'IGN, permettent de préciser la nomenclature utilisée dans les bordereaux de baguage (fig. 3). La distance à ces routes permet ainsi d'évaluer l'effet de la régularité et la constance de leur fréquentation sur la localisation des sites. Les routes très fréquentées correspondent aux routes principales et secondaires, représentant ainsi une perturbation régulière, tandis que les routes peu fréquentées correspondent aux routes locales, sources potentielles de dérangements plus ponctuels.

Les circuits de randonnées (tableau 2) décrivent une autre forme de perturbation ; les individus ne se déplacent pas dans des véhicules, leur présence peut être révélée de façon variable et leur itinéraire est moins prévisible que sur une route goudronnée. Ils représentent donc des sources potentielles de dérangements ponctuels, tout comme les routes forestières fermées à la circulation (tableau 2) dont la fréquentation est souvent irrégulière. Les habitations (tableau 2) sont des entités répondant aux mêmes logiques. L'descripteur a déjà été étudié en Belgique, la distance moyenne avec les nids étant d'environ 1 490 m (Jadoul et Cabaret, 2003). Le nombre d'habitants au sein de la ville la plus proche (tableau 2) est également relevé. Il permet de préciser le nombre potentiel de personnes pouvant emprunter les chemins de randonnées et autres voies forestières aux abords des nids. Ce dernier descripteur est expérimental.

Les lignes de parcelles et les cloisonnements (tableau 2) désignent des espaces inter ou intra-parcellaires permettant le passage d'hommes ou d'engins d'exploitation sylvicole. Ils sont donc des sources potentielles de dérangements ponctuels, mais fournissent également des potentialités en termes d'accès au nid. La distance à la ligne de parcelle est un élément issu du bordereau de baguage, néanmoins, l'descripteur concernant les cloisonnements a été ajouté à l'étude après avoir constaté sur le terrain plusieurs cas de nid en bordure de ces entités.

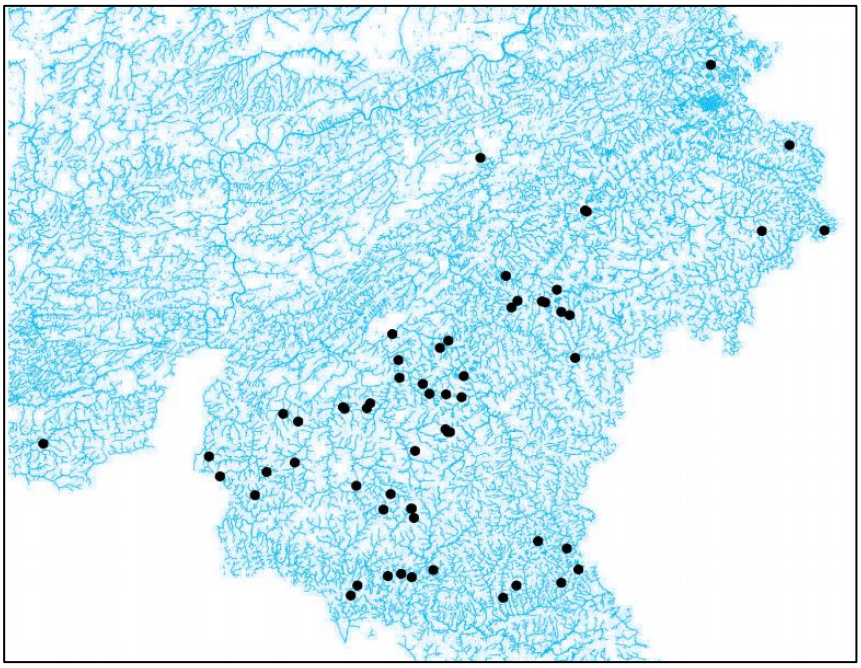


Figure 5 : Répartition des nids connus en région Wallonne entre 1995 et 2003 en fonction du réseau hydrographique (Jadoul et Cabaret, 2003)

Une étude portant sur les densités de couples de cigognes noires en Grèce a montré que la proximité entre deux nids occupés simultanément, par exemple à moins de 300 m, ne perturbe pas les nichées concernées (Alexandrou et al., 2016). Toutefois, le contexte de l'étude montrait une abondance dans les ressources trophiques disponibles, ce qui peut avoir exclu tout effet de compétition intra-spécifique. En effet, une étude lettone montre, au contraire, que les nids présentant le meilleur succès reproducteur sont les plus isolés des autres, éloignés de plusieurs kilomètres (Strazds et al., 2003). La distance entre deux nids de cigognes noires occupés simultanément est donc évaluée dans cette étude (tableau 2).

Concernant les descripteurs décrivant une attraction potentielle pour l'oiseau, différentes études ont caractérisé les habitudes des cigognes noires en regard des zones de gagnage. Les nids sont généralement situés près de cours d'eau, à une distance moyenne de 25 m, les têtes de petits ruisseaux étant favorisées (fig. 5) (Jadoul et Cabaret, 2003). Les distances aux cours d'eau permanents ainsi qu'aux étendues d'eau stagnante les plus proches sont ainsi évaluées (tableau 2). Un nid situé en tête de bassin versant (tableau 2) est défini dans cette étude par un site présentant, dans un rayon de 5 km, des petits cours d'eau ou bien des sources (OIEau, 2017). Ces secteurs, souvent moins exposés aux pressions de nature anthropique, constituent en partie les zones de gagnage de la cigogne noire et sont très souvent investis pour la nidification (fig. 5).

Enfin, la lisière forestière constitue à la fois une source potentielle de perturbations par son statut de transition vers une nouvelle occupation du sol, souvent avec des terres cultivées accueillant des machines agricoles de façon régulière, mais aussi à un passage obligé pour l'oiseau lorsque celui-ci se rend sur les zones de gagnage. La distance moyenne entre le site et la lisière (tableau 2) serait d'environ 1 300 m pour les nids belges, bien que ce paramètre présente de fortes variations (Jadoul et Cabaret, 2003). Une courte distance entre les deux entités garantit une certaine réduction des coûts énergétiques pour réaliser les allers-retours entre le site de nidification et les zones de gagnage lors de l'alimentation des jeunes ; une longue distance peut être garante de plus de quiétude pour la nichée. La surface forestière du massif (tableau 2) dans lequel se trouve le site de nidification est un descripteur suivant la même logique, avec ces deux antagonistes. Les observations indiquent que l'espèce, nichant dès son arrivée en France au sein de grands massifs de 6 300 ha, utilise progressivement des massifs ne dépassant pas les 50 ha (Jadoul, 2000 ; Jadoul et Cabaret, 2003).

Le macro-habitat

Tableau 3 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, topographie

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Macro-habitat	Topographie du site	Profil du terrain sur lequel se trouve le site	1	1
		Exposition de la pente dominante du site (en gr)		
		Pente (en %)		
		Altitude à laquelle se trouve le site (en m)		

Les descripteurs suivants abordent l'échelle du macro-habitat, défini dans cette étude comme une zone comprise dans un rayon de 30 m autour de l'arbre porteur de nid. Toutefois, les descripteurs en rapport avec la gestion (tableau 4) sont évalués à l'échelle de la placette forestière au sein de laquelle se trouve le site.

Les caractéristiques topographiques des sites de nidification chez la cigogne noire sont des descripteurs régulièrement étudiés. L'altitude, la pente et la position du site en termes de topographie générale (tableau 3) ont fait l'objet d'analyses statistiques. Les résultats ont montré une grande variabilité dans ces caractéristiques. Néanmoins, les sites sont généralement escarpés et placés en rupture supérieure de pente ou en plateau (Jadoul et Cabaret, 2003 ; Vlachos et al., 2008). L'exposition de la pente dominante

(tableau 3) est ajoutée dans ce protocole, elle permettra éventuellement d'établir des corrélations avec l'exposition du nid dans l'arbre ou bien les couloirs d'arrivée connus.

Tableau 4 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, gestion forestière et composition en essences

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Macro-habitat	Gestion	Traitement sylvicole du peuplement	1	1
	Composition en essences	Essence majoritaire du peuplement	2	Hors terrain
		Essence secondaire du peuplement		
		Richesse locale		
		Type de mélange selon la position sociale des arbres		3
		Type de mélange selon les essences		

Le tableau ci-dessus permet d'aborder dans un premier temps l'aspect « gestion » du site. Le traitement sylvicole (tableau 4), à l'échelle de la placette au sein de laquelle se trouve le site de nidification, est un descripteur d'importance qui conditionne en particulier la structure du peuplement. La futaie jardinée, une structure irrégulière caractérisée par un mélange d'arbres pied par pied, serait le plus souvent l'itinéraire employé dans les placettes des sites choisis (Jadoul, 2000). Il s'agit d'un descripteur figurant dans les bordereaux de baguage (fig. 3).

Les descripteurs suivants concernent dorénavant la placette d'étude, et non plus la parcelle forestière. La composition en essences de l'environnement du nid est importante à décrire. En effet, les différentes essences ne produisent pas les mêmes houppiers, ne croissent pas de la même façon et conditionnent, en particulier, l'accessibilité du site. L'essence majoritaire (tableau 4) est l'essence présentant le plus grand effectif au sein de la placette. Cet descripteur apparaît régulièrement dans la bibliographie, en particulier dans les inventaires naturalistes, et est facile à mettre en œuvre (Rech et Dejean, 2011 ; Baeta et al., 2016). L'essence secondaire (tableau 4) est également relevée. La richesse locale (tableau 4) permet de rendre compte de la diversité en essences au sein de la parcelle. Il s'agit de la richesse spécifique pour laquelle il faut renseigner, pour chaque placette, le nombre total d'essences recensées lors du relevé dendrométrique (IGN, 2017). Néanmoins, plusieurs espèces sont regroupées au sein d'une même essence, un chêne sessile étant noté sous la même appellation qu'un chêne pédonculé, « chêne », c'est pourquoi l'descripteur ne porte pas le nom de richesse spécifique.

La position sociale des arbres (tableau 4) fait référence à l'agencement des arbres dans un plan vertical. Il s'agit de distinguer les peuplements présentant un étagement des arbres, des peuplements irréguliers. Le mélange selon les essences (tableau 4) indique si le peuplement considéré est pur en feuillus ou en résineux, ou bien mixte. Ce dernier descripteur est observé de façon régulière, distinguant notamment les nids situés au sein de peuplements mixtes en région Centre-Val de Loire, des peuplement de feuillus largement plus investis dans l'Est du territoire (Jadoul et Cabaret, 2003 ; Jiguet et Villarubias, 2004 ; Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016).

Tableau 5: Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, consistance du peuplement et capital

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Macro-habitat	Consistance	Estimation du pourcentage de couvert arboré (en %)	2	2
		Estimation du pourcentage de couvert arbustif (en %)		
		Couvert de semis de classe 0,5-1,5 m de hauteur sur la placette (en %)		Hors terrain
		Couvert de fourrés de classe 1,5-3 m de hauteur sur la placette (en %)		
		Couvert de gaulis de classe > 3m de hauteur et jusqu'à 7,5 cm de diamètre sur la placette (en %)		
	Capital	Surface terrière facteur 1 (m²/ha)	1	
		Nombre de tiges à l'hectare (en nb de tiges/ha)		

La consistance du peuplement rend compte de la répartition des tiges, et donc de la texture résultante, en particulier d'un point de vue aérien. Elle caractérise donc essentiellement le couvert et est un critère relativement important dans une étude visant à comprendre le comportement de l'oiseau prospectant pour un site de nidification. C'est ce qui est évalué par l'estimation des couverts arborés et arbustifs (tableau 5). Le pourcentage de couvert est un descripteur largement utilisé en écologie forestière et peut être étudié pour caractériser les sites de nidification de la cigogne noire (IGN, 2017).

La consistance est ensuite abordée par les strates inférieures du peuplement. Le sous-étage constitue un élément assurant potentiellement la dissimulation effective du nid depuis le sol, mais les différentes structures de régénération telles que les semis, fourrés et gaulis (tableau 5) n'ont jamais fait l'objet d'études en ce qui concerne la cigogne noire (Baeta et al., 2016). Ces strates participent peut-être, pourtant, à la dissimulation du nid. Elles sont par ailleurs étudiées dans les protocoles de suivi dendrométrique des réserves forestières ainsi que dans les protocoles de l'Association Futaie Irrégulière (AFI) pour le suivi de placettes en peuplements irréguliers (Bruciamacchie, 1991 ; Anonyme, 2012).

La surface terrière (tableau 5) est un descripteur de grande importance pour la caractérisation du peuplement. Cet descripteur, largement utilisé en gestion forestière, est donc très explicite pour les forestiers (IGN, 2017). Il permet essentiellement d'estimer le capital sur pied, mais peut également être un descripteur révélant l'accessibilité du site pour la cigogne noire. Il s'agit en effet d'un paramètre donnant des indications sur le niveau de fermeture du peuplement.

Le nombre de tiges par hectare (tableau 5) renvoie à des notions de densité et suit la même logique que la surface terrière. En Grèce, les sites de nidification présentent vraisemblablement des densités de tiges ainsi que des surfaces terrières plus faibles que les peuplements témoins, sans nid, utilisés pour l'étude (Vlachos et al., 2008). Ces deux descripteurs sont relevés lors des campagnes terrain de l'IFN (IGN, 2017).

Tableau 6 : Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, structure du peuplement de la placette

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Macro-habitat	Structure	Diamètre moyen quadratique du peuplement de la parcelle (en cm)	1	Hors terrain
		Diamètre dominant dans la parcelle (en cm)		
		Diamètre moyen quadratique du peuplement dans un rayon de 10 mètres autour du nid (en cm)		
		Hauteur moyenne des deux plus gros arbres de la placette en dehors de l'arbre porteur de nid (en m)	2	
		Hauteur moyenne estimée du taillis dans un rayon de 10 mètre autour du nid (en m)	1	2
		% de petit bois du site par rapport au nombre total de tiges (17,5-22,5 cm de diamètre)		Hors terrain
		% de bois moyen (22,5-47,5 cm de diamètre)		
		% de gros bois (47,5-67,5 cm de diamètre)		
		% de très gros bois (>67,5 cm de diamètre)		

L'objet principal des relevés concernant la caractérisation du macro-habitat est la description de la structure du peuplement. Les 9 descripteurs quantitatifs suivants permettent d'en apprécier les principales composantes. Premièrement, une composante dite horizontale porte sur la distribution diamétrale des arbres au sein du peuplement étudié (Fortin, 2015). L'étude des diamètres des arbres de la placette se compose dans un premier temps de l'évaluation du diamètre moyen quadratique du peuplement (tableau 6). Ce calcul est généralement plus utilisé que les moyennes arithmétiques, donnant moins de poids aux arbres de faibles diamètres (Fortin, 2015). Cet descripteur est également précisé par le diamètre moyen dans un rayon de 10 mètres autour du nid (tableau 6), de façon à éventuellement constater un gradient aux abords de l'arbre porteur de nid. Le diamètre dominant (tableau 6), défini comme le diamètre moyen quadratique des plus grands arbres de la placette, est également calculé (Fortin, 2015).

Si les diamètres moyens n'ont pas réellement fait l'objet d'études sur les sites de nidification chez la cigogne noire, la distribution des différentes classes de diamètre (tableau 6) a eu l'occasion d'être étudiée en Grèce. Les sites de nidification se distinguent des peuplements témoins utilisés pour l'étude en présentant moins de bois moyens (BM) (Vlachos et al., 2008). En revanche, ils semblent présenter plus de gros bois (GB) et très gros bois (TGB), bien que cette différence ne soit pas significative pour l'étude en question (Vlachos et al., 2008).

L'évaluation des descripteurs portant sur la hauteur du peuplement représente la composante structurale dans le plan vertical (Fortin, 2015). Comme il n'était pas raisonnable d'envisager la mesure de toutes les hauteurs totales des arbres de la placette, seules les hauteurs des deux plus gros arbres (tableau 6) sont ainsi relevées. L'arbre porteur de nid étant généralement de grande taille, il sera possible de réaliser des comparaisons avec ces derniers (Baeta et al., 2016). De même, la hauteur d'une perche située dans un rayon de 15 m autour de l'arbre porteur de nid est relevée (tableau 6). Il s'agit des arbres dont le diamètre est compris entre 7,5 et 17,5 cm (Bruciamacchie, 1991). Une perche atteignant la hauteur du nid peut compromettre l'accès par les adultes et peut également constituer une voie d'accès pour les prédateurs au sol.

Tableau 7: Descripteurs à l'échelle du macro-habitat des sites de nidification, structure du peuplement de la placette, accessibilité du site et ressources pour le nid

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Macro-habitat	Accessibilité	Nombre de tiges de bois mort debout par hectare (en nb de tiges de BM/ha)	2	Hors terrain
		Distance de la trouée la plus proche (en m)		1
		Nombre de couloirs d'arrivée potentiels au nid	1	Hors terrain
		État sanitaire moyen des X arbres en contact avec l'arbre porteur de nid	2	2
	Ressource en matériaux constitutifs des nids	Nombre de matériaux au mètre carré pour la construction du nid (en nb rameaux > 20 cm de longueur / m²)		Hors terrain
		Recouvrement moyen des arbres par les bryophytes sur 1 m de hauteur à partir de la base tronc (en %)		

Le tableau ci-dessus présente les derniers descripteurs sélectionnés pour la description du macro-habitat d'un site de nidification de cigogne noire. Parmi ces descripteurs, quatre d'entre eux renvoient directement à l'évaluation de l'accessibilité du site. En effet, les tiges de bois mort debout (tableau 7) constituent, en plus d'une trouée dans le couvert éventuellement utilisable par les cigognes noires pour passer sous les houppiers, un perchoir potentiel pour l'oiseau avant de se rendre au nid (fig. 6). Selon les observations, les adultes arrivant au nid peuvent voler sur quelques dizaines voire centaines de mètres sous le couvert, s'arrêtent parfois non loin du nid sur un perchoir, puis terminent leur parcours jusqu'au nid. Il s'agit donc, par cet descripteur, d'évaluer la disponibilité en perchoirs potentiels à proximité du nid. Le bois mort debout est un descripteur relevé par l'Institut Géographique National (IGN) lors de l'IFN (IGN, 2017).

Figure 6 : Cigogne noire perchée sur un arbre mort, source : J-J. Boutteaux)

Dans cette même optique, la distance entre l'arbre porteur de nid et la trouée la plus proche (tableau 7) est évaluée, bien qu'il soit impossible de vérifier que la trouée décrite soit effectivement utilisée par la cigogne noire pour passer sous les houppiers. Ce second descripteur est donc très expérimental. Une trouée est définie, dans cette étude, comme une ouverture temporaire du houppier de surface suffisante pour le passage d'une cigogne noire d'une envergure de 1,8 m. La surface de cette trouée devrait donc être, au minimum, de 4 m² (LPO, 2018).

Les couloirs d'arrivée potentiels au nid (tableau 7) constituent un descripteur très expérimental également. A partir des données de structure et de capital du peuplement de la placette (tableaux 5,6), il est possible de mettre en exergue les principaux couloirs d'accès au nid. Ces couloirs d'arrivée ont été définis comme espaces d'une largeur minimale de 1,8 m. Il n'a pas été possible de fixer une limite en termes de hauteurs au-dessus de laquelle la cigogne ne pourrait circuler, la hauteur totale de tous les arbres de la placette n'ayant pas été décrite.

Enfin, l'état sanitaire des arbres (tableau 7) est évalué selon la méthode issue du protocole « DEPERIS » (Nageleisen et al., 2017). La méthode attribue une note pour l'arbre décrit, en fonction de la

présence ou non de branches mortes dans le houppier, mais aussi en fonction de la transparence du houppier ou de la présence de fenêtres qui sont les conséquences d'un manque de feuilles ou de ramifications de l'arbre (Nageleisen et al., 2017). Cet descripteur rend compte de la compétition entre les arbres. Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de l'état sanitaire des arbres dont le houppier est directement en contact avec l'arbre porteur de nid permettra éventuellement de mettre en évidence les zones d'accès, ou non, au nid. Des arbres voisins peu ramifiés aux houppiers étriqués laisseront plus de potentialités d'accès au nid que des arbres dominants avec un houppier très développé.

Pour conclure sur les descripteurs sélectionnés pour la caractérisation du macro-habitat, les deux derniers paramètres portant sur les ressources disponibles pour la construction d'un nid sont purement expérimentaux. Les nids de cigognes noires sont composés, en grande majorité, de branches et de rameaux (fig. 7) mesurant généralement plus d'un mètre de longueur et avoisinant quelques centimètres de diamètre (Kalocsa et Tamas, 2003). Les observations montrent que les essences utilisées sont variables. Pour ce qui est de l'intérieur du nid, celui-ci est garni de couches de mousses (fig. 7), une nouvelle couche étant appliquée pour chaque nouvelle année d'occupation. Une étude très récente portant sur différentes espèces de mésanges montre que ces oiseaux sélectionnent les espèces de mousses constituant leurs nids (Wesołowski et Wierzcholska, 2018). De plus, ces matériaux sont vraisemblablement prélevés dans le voisinage immédiat des nids (Wesołowski et Wierzcholska, 2018).

Figure 7 : Cigogneaux au nid, une structure imposante composée de branches et garnie de mousse, source : J-J. Boutteaux

Des observations de cigognes noires collectant effectivement des mousses sur la base des troncs à proximité des nids laissent penser qu'un habitat présentant une certaine disponibilité en ressources pour la construction du nid est un site intéressant pour l'oiseau (Obs. pers.). Une mission de détermination des espèces de bryophytes constitutives des nids a mené à l'identification d'espèces essentiellement humo-corticoles, investissant la base des troncs pour se développer. Ce résultat est donc en cohérence avec les observations faites sur le terrain. Dans le but d'affiner le besoin de l'oiseau en matériaux tels que les branches et les mousses, le nombre de rameaux au sol par m² est évalué à l'aide de quadrats et le taux de couvert moyen des troncs par les bryophytes sur un mètre de hauteur à partir de la souche est estimé (tableau 7).

Le micro-habitat

Tableau 8 : Descripteurs à l'échelle du micro-habitat des sites de nidification

Échelle d'application	Critère	Indicateur	Priorisation scientifique	Priorisation terrain
Microhabitat	Arbre porteur de nid	Essence de l'arbre porteur de nid	1	1
		Hauteur totale de l'arbre porteur de nid (en m)		
		Diamètre de l'arbre porteur de nid à 1m30 (en cm)		
		Coefficient de stabilité de l'arbre porteur de nid		Hors terrain
		Hauteur de la première branche vivante du houppier de l'arbre porteur de nid (en m)	2	1
		Longueur du houppier (en m)	1	Hors terrain
		Pourcentage de houppier de l'arbre porteur de nid (longueur totale du houppier feuillé / H) (en %)		
		Estimation de l'âge de l'arbre porteur de nid (en années)	2	3
		État sanitaire de l'arbre		
		Si présence d'une trouée, indiquer son exposition (en gr)	1	1
	Branche porteuse	Estimation du diamètre de la branche porteuse au niveau de l'emplacement du nid (en cm)	3	2
		Particularité d'embranchement	1	1
	Nid	Hauteur du nid dans l'arbre (en m)		
		Position verticale du nid dans l'arbre		3
		Position horizontale du nid dans l'arbre	3	
		Distance entre le nid et la première branche directement au-dessus (en m)	2	2
		Distance entre le nid et l'aplomb du houppier (en m)		
		Distance entre le nid et le tronc (en m)		
		Exposition du nid dans l'arbre (en gr)	1	1
		Exposition des couloirs d'approche connu (en gr)		
		Diamètre du nid (en cm)	2	Hors terrain

L'échelle du micro-habitat est la dernière échelle décrite, il s'agit de l'échelle la plus locale de la caractérisation. Les descripteurs, au nombre de 21, se concentrent sur l'arbre porteur de nid.

L'essence, la hauteur totale ainsi que le diamètre de l'arbre (tableau 8) sont des paramètres étudiés dès les premières études portant sur les sites de nidification de cigognes noires et figurent sur les bordereaux de baguage (fig. 3) (Jadoul, 2000 ; Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016). Ces descripteurs permettent en particulier le calcul du coefficient de stabilité de l'arbre (tableau 8) qui correspond au rapport entre la hauteur totale de l'arbre et son diamètre. Un faible coefficient de stabilité est donc représentatif d'un arbre équilibré. Ce rapport permet d'avoir une autre vision des descripteurs classiques en termes de hauteur et de diamètre des arbres porteurs de nid. L'âge de l'arbre (tableau 8) est également un paramètre que l'on retrouve dans la bibliographie, les exemplaires âgés des différentes essences choisies étant souvent sélectionnés par la cigogne noire comme arbre porteur de nid dans certaines études, alors que dans d'autres, cela n'était pas systématiquement le cas (Lhomus et Sellis, 2003 ; Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016). Dans cette étude, l'âge de l'arbre correspond à une estimation.

La structure de l'arbre est précisée par son pourcentage en houppier (tableau 8). Cet descripteur nécessite de connaître la hauteur de la première branche vivante du houppier (tableau 8) ainsi que la longueur totale du houppier (tableau 8). La première branche vivante d'un arbre est définie en excluant les éventuels gourmands, des rameaux supplémentaires apparaissant dans un contexte d'exposition soudaine de l'arbre à la lumière. La longueur totale du houppier est obtenue en calculant la différence entre la hauteur totale et la hauteur de la première branche vivante du houppier. L'ensemble de ces descripteurs permet d'avoir une image de l'arbre porteur de nid, ainsi que de la consistance du houppier, dont la fonction de protection en regard des intempéries et des prédateurs est avérée pour diverses espèces (Alonso et al., 1990).

L'état sanitaire de l'arbre porteur du nid (tableau 8) est évalué selon les mêmes modalités que celui de ses voisins (tableau 7). Les enjeux sont identiques en termes d'accès, néanmoins, la présence de branches mortes peut compromettre la pérennité du nid si la structure, amenée à gagner en masse et en volume au cours des années, est élaborée dessus. En effet, des cas de nids construits sur des branches mortes ou peu consolidées ont déjà été observés. De plus, un arbre peu ramifié, bien qu'offrant plus de facilités pour l'accès et l'entraînement des jeunes avant l'envol, ne confère pas le même type de protection face aux intempéries et aux prédateurs qu'un arbre en très bon état.

Enfin, en lien avec l'descripteur à l'échelle du macro-habitat portant sur la distance entre l'arbre porteur de nid et la trouée la plus proche (tableau 7), l'exposition de cette trouée par rapport à l'arbre porteur est relevée (tableau 8). Cet descripteur peut être analysé en lien avec l'exposition du nid dans l'arbre (tableau 8). L'exposition des nids de cigognes noires a été étudiée en Belgique (fig. 8) ; l'étude montre qu'une exposition Sud-Est est favorisée en excluant totalement l'exposition au Nord (Jadoul et Cabaret, 2003). Des conditions d'ensoleillement plus favorables au Sud expliqueraient ce résultat (Jadoul et Cabaret, 2003). Toutefois, il est aussi possible d'émettre l'hypothèse que le nid puisse être positionné dans l'arbre de façon à ce que les accès y soient aisés, dans l'axe des trouées étudiées par exemple. C'est pourquoi un autre descripteur portant sur l'exposition des couloirs d'arrivée connus est également étudié (tableau 8).

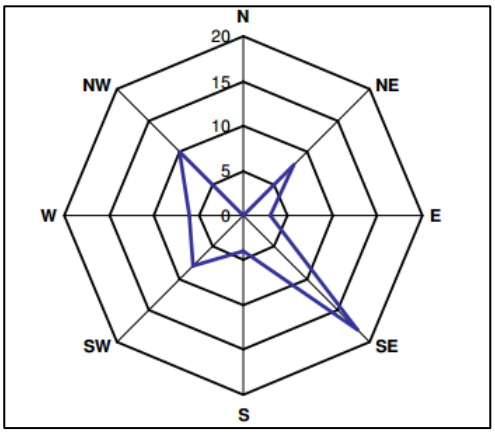


Figure 8 : Répartition des nids selon l'exposition, n = 60 (Jadoul et Cabaret, 2003)

La branche porteuse du nid est également caractérisée. En effet, celle-ci doit assurer, *a priori*, une fonction de soutient et conférer une certaine stabilité à un nid pouvant parfois atteindre plus de 1,5 mètres de diamètre et avoisiner la tonne en termes de poids (Strazds, 2003b, Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016). Son diamètre est alors estimé dans le cadre de cette étude à l'aide de différentes classes prédéfinies (tableau 8).

Les particularités concernant la forme de la branche porteuse sont également évaluées (tableau 8). En effet, une branche formant une fourche semble plus apte à assurer le maintien d'un nid qu'une branche tabulaire sans ramification. C'est pourquoi, dans le cadre de mesures de conservation telles que les opérations de construction de nids artificiels en Hongrie, les branches choisies présentent très souvent des fourches (Kalocsa et Tamas, 2003). De façon globale, ces opérations sont un succès (Kalocsa et Tamas, 2003).

Concernant les descripteurs portant sur le nid, la hauteur par rapport au sol (tableau 8) est un paramètre couramment étudié et relevé lors des opérations de baguage (fig. 3). La hauteur du nid semble être un paramètre très variable, comprise entre 4,5 et 23 m du sol (Jadoul, 2000 ; Vlachos et al., 2008 ; Baeta et al., 2016). Il s'agit d'un descripteur renvoyant souvent à des objectifs de protection de la nichée par rapport aux prédateurs, c'est pourquoi il est également étudié dans le cadre de cette étude (Kalinski et al., 2014).

De même, le diamètre du nid (tableau 8) est un descripteur parfois relevé, en particulier lors des opérations de baguage (fig. 3). Les diamètres sont relativement variables, mais ils peuvent atteindre plus de 1,5 m de diamètre (Strazds, 2003b). Il est possible d'émettre l'hypothèse que certaines caractéristiques du nid, telles que la taille, jouent un rôle sur le succès reproducteur des oiseaux (Moller et al., 2014).

La position du nid dans l'arbre est évaluée par deux descripteurs qualitatifs. Ces derniers permettent de rendre compte de sa position dans l'arbre selon une composante horizontale, faisant référence à l'éloignement du nid par rapport au tronc (tableau 8), ainsi qu'une composante verticale, évaluant l'emplacement du nid par rapport au houppier (tableau 8). Chez certaines espèces, l'emplacement du nid est

parfois très caractéristique, comme c'est le cas du balbuzard pêcheur dont les nids sont connus pour se trouver à la cime des arbres (Swenson, 1981). L'descripteur de position verticale du nid dans l'arbre vise alors à préciser les observations de terrain qui indiquent que les nids de cigognes noires se trouvent généralement à la base du houppier. Il complète ainsi l'descripteur portant sur la hauteur du nid dans l'arbre.

L'descripteur sur la position horizontale du nid est complété par un descripteur quantitatif, la distance entre le nid et le tronc (tableau 8), c'est pourquoi une priorité moindre lui est accordée. La distance entre le nid et le tronc est une mesure parfois étudiée dans la bibliographie, pouvant aller de 0 à 2 m, elle est de plus relevée lors des opérations de baguage (fig. 3) (Jadoul, 2000 ; Vlachos et al., 2008).

L'ensemble des descripteurs portant sur la position du nid dans l'arbre, la branche porteuse et la hauteur du nid renvoient de façon hypothétique à la protection du nid par rapport aux actes de prédation, mais également aux mauvaises conditions météorologiques. Dans ce dernier sens se trouve la justification du paramètre portant sur la distance entre le nid et l'aplomb du houppier (fig. 9, tableau 8). Cet descripteur, expérimental, permet d'évaluer si le nid est effectivement couvert et donc protégé par le houppier.

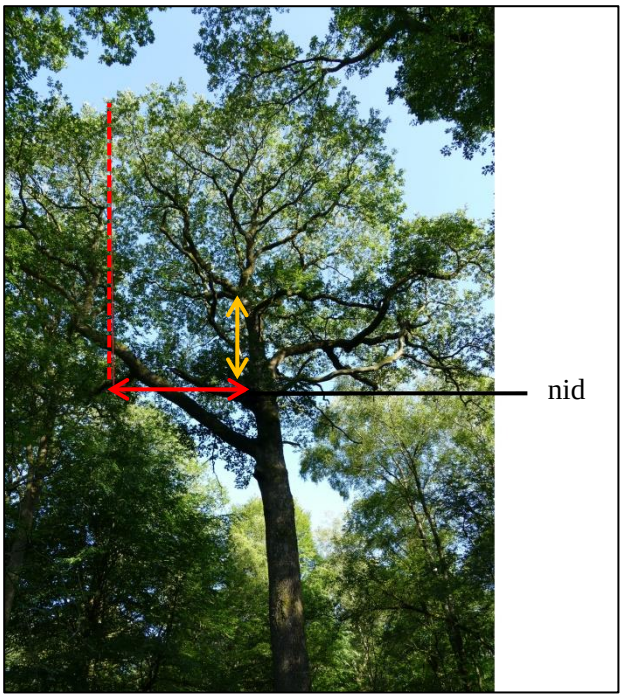


Figure 9 : Arbre porteur de nid de cigogne noire (C. Magot, juin 2018). La flèche rouge correspond à la distance entre le nid et l'aplomb du houppier. La flèche orange correspond à la distance entre le nid et la branche directement au-dessus.

Un dernier descripteur évalue l'espace disponible pour les oiseaux au nid. Il s'agit de la distance entre le nid et la branche se trouvant directement au-dessus (tableau 8), s'il y en a une (fig. 9). En effet, cet descripteur traduit d'éventuelles facilités d'accès au nid, ainsi que la possibilité pour les jeunes de s'entraîner à voler, par exemple en réalisant des battements d'ailes, sans se retrouver bloqués par le feuillage et les branchages. C'est descripteur est expérimental et clôture la liste des descripteurs sélectionnés pour l'étude.

2.2. Le protocole de caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire

L'ensemble des descripteurs détaillés précédemment est obtenu à l'aide du protocole présenté ci-dessous.

2.2.1. Les sites de nidifications caractérisés

Le protocole de caractérisation vise à décrire les sites de nidification de la cigogne noire en milieu forestier en abordant différentes échelles de l'environnement. L'optimum pour la caractérisation est en août, lorsque les oiseaux, ainsi que les jeunes, sont partis des sites de nidification. En effet, il est possible, à ce moment, de caractériser des sites occupés durant la saison, mais également d'autres sites n'ayant pas été occupés. Juste après le départ des nicheurs ainsi que des jeunes, la composition et la structure végétative des peuplements est similaire à celle qu'ils ont connu lorsqu'ils étaient présents, ce qui permet une caractérisation fidèle de l'habitat de nidification. Néanmoins, la période d'étude, en pleine saison de reproduction, a mené au choix de sites présentant des nids tous non occupés en 2018. En effet, cette mesure

garantit la quiétude nécessaire à ces oiseaux très sensibles au dérangement, en particulier en période de reproduction (Strazds, 2003b).

Cette restriction peut amener à la caractérisation de sites qui n'ont pas été occupés depuis plusieurs années, et qui ont pu connaître des modifications paysagères, en particulier des travaux sylvicoles dans leur environnement proche. Pour garantir une caractérisation qui soit fidèle aux conditions du milieu qui régnaient sur le site lorsque l'oiseau l'a choisi pour nicher, les nids caractérisés ont été sélectionné de façon à ce que tous présentent un environnement non changé. Pour cela, le recul maximum permettant de garantir des conditions inchangées fut estimé à cinq ans, en dehors des travaux sylvicoles connus qui ont permis d'éliminer quelques sites en amont. Les nids caractérisés font donc partie d'une population de nids occupés au moins une fois depuis 2013 et présentent donc, pour cette étude, des caractéristiques similaires à celles que les sites offraient lors de la dernière nichée.

Les sites de nidification de la cigogne noire, dans un contexte de préservation de l'espèce, ne sont connus que par un nombre très restreint de personnes tenues à une obligation de confidentialité. A partir de ce constat, un important facteur porte alors sur la disponibilité de ces personnes pour l'étude. Une grande majorité des interlocuteurs fait partie du groupe espèce cigogne noire du réseau avifaune de l'ONF, créé en 1998, organisé par secteurs. Un secteur couvre un vaste territoire, pouvant regrouper jusqu'à plusieurs départements. Il existe ainsi un référent du réseau par secteur, l'ensemble des informations étant ensuite centralisé par le responsable du groupe qui coordonne le réseau à l'échelle nationale. Après une première prise de contact avec les membres du réseau cigogne noire de l'ONF, ainsi que d'autres interlocuteurs impliqués dans des réseaux naturalistes ayant des missions sur le sujet pour les forêts non gérées par l'office, une première liste de sites de nidification répondant aux critères détaillés précédemment a été réalisée.

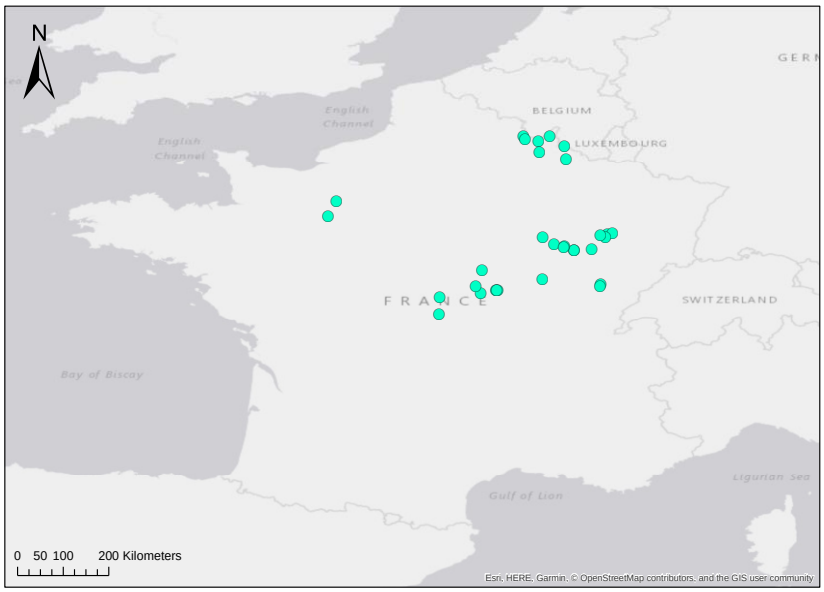


Figure 10 : Les 31 sites de nidification de cigognes noires décrits (© 2017 Esri)

Un total de 34 sites correspondait aux critères d'étude. Néanmoins, ces 34 sites ne représentent qu'une sous-population dans les sites se prêtant à l'étude. En effet, tous les coordinateurs du réseau cigogne noire n'étaient pas disponibles et certains secteurs présentant des sites intéressants pour l'étude n'ont donc pas pu être étudiés. L'objectif initial visait à caractériser 25 sites, mais au vue de la population disponible, il a été décidé de réaliser un maximum de relevés. Dans le temps imparti, 31 relevés ont été effectués (fig. 10).

2.2.2. Description de la zone d'étude : des sites répartis sur un vaste secteur géographique

S'il était prévu dans un premier temps de se restreindre à l'étude des sites de nidification des départements de la Haute-Marne, la Nièvre et la Côte-d'Or, l'aire de l'étude a rapidement été élargie à une plus grande partie du territoire français (fig. 6). En effet, l'objectif est de réaliser une étude la plus complète possible, en rendant compte de la diversité des espaces géographiques investis pour la nidification de la cigogne noire. De plus, les critères de sélection des sites à étudier, vus précédemment, n'auraient permis l'étude que d'une quinzaine de sites si le secteur géographique prévu initialement s'était effectivement

restreint à ces trois départements. La zone d'étude s'étend alors sur environ 1 150 km² et concerne douze départements dans la partie nord du territoire, de la Sarthe à l'Ouest jusque dans les Vosges à l'Est en passant au Nord par l'Aisne et au Sud par l'Allier.

Cette zone, très vaste, présente une grande variabilité dans ses caractéristiques topographiques, climatiques et biotiques. Globalement, les sites caractérisés connaissent un climat tempéré, océanique avec des influences continentales croissantes à mesure que l'on s'éloigne des littoraux (IGN, 2018). La topographie dominante est un relief de plaines et plateaux et l'aire d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique dense contribuant notamment à la diversité des milieux (IGN, 2018). Les forêts de production de ces secteurs, de composition variable en lien avec des contextes édaphiques diversifiés, en particulier en termes d'acidité et de ressource en eau, sont majoritairement feuillues. Elles présentent une certaine proportion de futaies à base de chêne, hêtre et taillis de charmes dont les faciès, très variés, dépendent des conditions de station (IGN, 2018). La surface boisée sur l'ensemble des deux GRECO principales de la zone d'étude, Centre Nord semi-océanique et Grand Est semi-continental, est relativement importante et représente 31% de la surface boisée de la forêt française métropolitaine, soit 9% du territoire (IGN, 2018).

C'est dans ce vaste secteur géographique présentant une grande diversité de tout point de vue qu'est réalisée l'étude des facteurs discriminants sur les sites de nidification de la cigogne noire.

2.2.3. Caractérisation des sites de nidification

Le protocole permettant de collecter les données relatives aux descripteurs détaillés précédemment, en abordant les différentes échelles d'étude, est décrit ci-dessous. Certains de ces descripteurs ne sont calculés ou évalués qu'après la phase de terrain, c'est pourquoi ils ne figurent pas tous dans le protocole présenté.

La durée d'un relevé complet est comprise entre 2 h 30 m et 3 h. Il s'agit donc d'un protocole relativement important, nécessitant la présence d'une seconde personne, en particulier pour les relevés dendrométriques. Dans la majeure partie des cas, il s'agit du suiveur de nid, cette personne ayant une très bonne connaissance du site. Sa présence permet notamment de trouver rapidement les nids et obtenir les informations concernant son historique.

Le protocole se déroule en suivant deux grandes étapes. L'une concerne la collecte de données sur le contexte, le macro-habitat et le micro-habitat avec la réalisation de mesures concernant l'arbre porteur de nid. La seconde étape concerne la réalisation de mesures dendrométriques sur le peuplement dans la placette. De cette seconde phase dépendent une très grande partie des descripteurs portant sur le macro-habitat.

Localisation, topographie, micro et macro-habitat

Après avoir identifié l'arbre porteur de nid, le protocole est mis en œuvre. Une fiche de terrain permet de guider le relevé et noter les données collectées (annexe n° 1).

En premier lieu, la majorité des descripteurs de contexte et d'historique des sites sont renseignés avec l'aide du suiveur de nid :

- région,
- département,
- commune,
- lieu-dit,
- nom de la forêt,
- propriété forestière,
- numéro de parcelle forestière dans laquelle se trouve le site,

- l'ensemble des descripteurs portant sur l'historique du site : nombre d'années d'occupation en précisant les années de nidification, le nombre de jeunes bagués par nichée et, si elles sont connues, les numéros de bagues des cigognes nicheuses. Cette information permet, si l'oiseau a été bagué au nid, de déduire son année de naissance et donc, son âge exact.
- les coordonnées du site, relevées à l'aide d'un GPS sous le système WGS84, en degrés décimaux.

Le point GPS correspond à la localisation de l'arbre porteur du nid, situé au centre de la placette circulaire d'un rayon de 30 m. Des photos du site sont également prises ; outre la plus-value visuelle apportée, les photos permettent éventuellement de vérifier les résultats et descripteurs lors de la saisie ou bien de l'analyse des données.

Les descripteurs portant sur la topographie du site sont collectés dans un second temps :

- l'altitude, en mètres, directement lue sur le GPS,
- la pente, mesurée à l'aide d'un clisimètre,
- l'exposition de la pente dominante, en grades, est mesurée en se plaçant dos à la pente et en indiquant l'orientation affichée à la boussole, enfin,
- le profil topographique correspondant à l'emplacement du site est déterminé à l'aide d'un schéma simplifié (fig. 11).

Profil topographique (cf schéma) :			
1 : plateau	☐	6 : bord de cours d'eau	☐
2 : haut de versant	☐	7 : sommet étroit, croupe	☐
3 : rupture de pente	☐	8 : replat	☐
4 : bas de versant	☐	9 : vallée étroite, fond de vallon	☐
5 : vallée large (largeur > 100 m)	☐	10 : dépression	☐

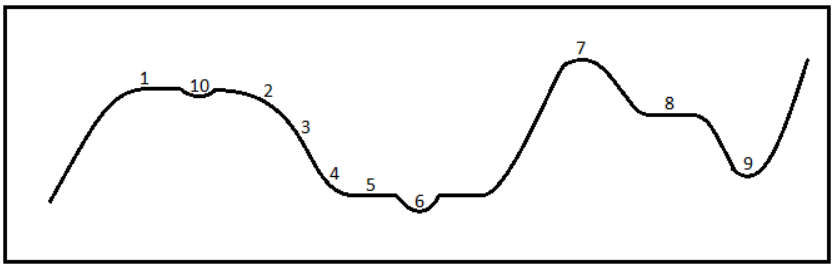


Figure 11 : Schéma simplifié des différents contextes topographiques qu'il est possible de rencontrer sur les sites

La caractérisation du macro-habitat est réalisée en renseignant les descripteurs suivants :

- le traitement sylvicole, dont les modalités sont issues de la nomenclature utilisée par l'ONF : futaie régulière, futaie irrégulière, futaie jardinée, taillis, taillis-sous-futaie (TSF), traitement mixte, attente sans traitement défini et hors sylviculture. Le suiveur du nid étant généralement le technicien du triage dans lequel se trouve le site, il connaît la parcelle ainsi que son mode de gestion.
- le type de mélange en fonction de la position sociale des arbres, relativement lié au traitement sylvicole : par étages superposés, dominant-dominé, irrégulier (fig. 12).

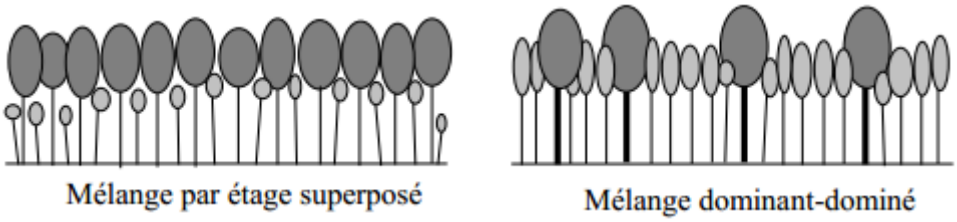


Figure 12 : Schémas des différents types de mélanges des arbres selon leur position sociale (Bastien, 2002)

- le pourcentage de couvert des strates arborées et arbustives, estimées à l'échelle de la placette de 30 m de rayon, toutes essences confondues. La strate arborescente concerne les arbres supérieurs à 7 m de hauteur, la strate arbustive concerne les tiges de 1 à 7 m de hauteur (annexe n° 2). Ils s'apprécient en estimant le pourcentage de la projection au sol des houppiers au-dessus de la placette (Delassus, 2015). Tous les houppiers sont pris en compte dans l'estimation, y compris ceux dont les troncs ne sont pas compris dans la placette.
- une précision est apportée concernant l'emplacement du nid par rapport aux éventuels cloisonnements,
- si une trouée dans le couvert est présente dans le périmètre de 30 m autour du nid, la distance à ce dernier est mesurée à l'aide d'un télémètre.

Enfin, pour la caractérisation du micro-habitat :

- la hauteur de la première branche vivante du houppier de l'arbre porteur de nid est mesurée à l'aide d'un télémètre,
- l'exposition du nid dans l'arbre est renseignée à l'aide d'une boussole en se plaçant dos au tronc, à l'aplomb du nid,
- l'âge de l'arbre porteur du nid est estimé par l'intermédiaire de 3 classes : entre 50 et 100 ans, entre 100 et 150 ans et au-delà de 150 ans.
- l'exposition de la trouée la plus proche dont la distance a été mesurée précédemment est relevée, en se plaçant dos à l'arbre porteur de nid et en pointant la trouée avec la boussole,
- il est demandé au suiveur de nid d'indiquer les couloirs d'arrivée empruntés par les adultes, s'il y a eu des observations sur cet aspect. L'exposition de ces couloirs est ainsi relevée à la boussole, ils constituent donc uniquement les couloirs d'arrivée connus,
- le diamètre de la branche porteuse de nid est estimée par l'intermédiaire de 3 classes : inférieur à 20 cm, entre 20 et 40 cm au-delà de 40 cm,
- la forme de la branche choisie pour l'emplacement du nid est relevée, ainsi il est noté si : la branche présente un fourche ou s'il s'agit d'une branche tabulaire. Néanmoins, une case « autre » permet de renseigner d'autres particularités,
- la hauteur du nid par rapport au sol est mesurée à l'aide d'un télémètre de type vertex,
- la position du nid dans l'arbre est évaluée à l'aide de différentes modalités : une composante verticale ; le nid pouvant se trouver à la base du houppier, au milieu ou en haut, et une composante horizontale, le nid pouvant être positionné sur une branche latérale, ou bien dans l'axe du tronc,
- l'espace disponible à la verticale du nid est mesuré à l'aide du vertex ; si une branche se trouve à la verticale du nid, il suffit de soustraire la hauteur du nid à la hauteur de cette branche,
- la distance entre le nid et l'aplomb du houppier est mesurée à l'aide du télémètre en se plaçant à l'aplomb du houppier avec l'émetteur et en plaçant le transpondeur à l'aplomb du nid,
- de même, la distance entre le nid et le tronc est mesurée de la même manière, l'émetteur étant placé à l'aplomb du nid et le transpondeur est fixé au tronc de l'arbre. Ces conditions de mesures, depuis le

sol, peuvent néanmoins conduire à une différence avec la distance réelle au niveau du nid, le tronc n'étant jamais rectiligne.

- le diamètre du nid est estimé par l'intermédiaire de 3 classes de diamètre : inférieur à 1 m, entre 1 m et 1,5 m et supérieur à 1,5 m. Cet descripteur est toujours vérifié après le terrain avec les bordereaux de baguage disponibles renseignant cette information de manière précise, le diamètre du nid étant mesuré par le grimpeur.

Une fois l'ensemble de ces mesures et estimations réalisées, il est possible de commencer le tour dendrométrique de la placette.

Les relevés dendrométriques et quadrats

Tous les ligneux à partir du stade petit bois, le diamètre de pré-comptage étant fixé à 17,5 cm, et appartenant à la placette circulaire de rayon 30 m sont pris en compte pour le relevé dendrométrique (fig. 13).

Un sous-rayon, fixé à 15 m, permet de compter les ligneux au stade perche, c'est-à-dire les tiges dont le diamètre est compris entre 7,5 et 17,5 cm, en plus des autres (fig. 13). Pour ces arbres, les diamètres ne sont pas relevés, les perches sont seulement dénombrées et une unique mesure de hauteur est réalisée.

Si le pied de l'arbre se situe à l'extérieur de la placette, ou bien si le centre de l'arbre n'est pas compris dans le rayon, il n'est pas pris en compte dans le relevé.

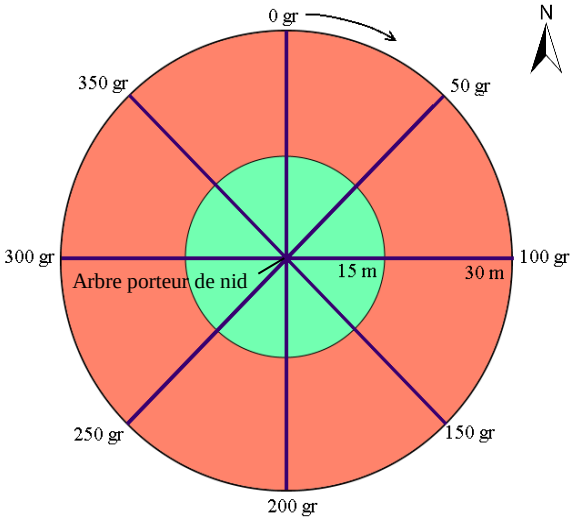


Figure 13 : Schéma de la placette pour les mesures dendrométriques

Parallèlement à ces placettes, huit transects de 30 m orientés Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest sont mis en place dans le but d'estimer le couvert par les semis, fourrés et gaulis (fig. 13). Ces différents stades sont respectivement compris entre 0,5 et 1,5 m de hauteur, 1,5 et 3 m de hauteur et le stade gaulis correspond à des tiges dont la hauteur est supérieure à 3 m mais dont le diamètre est inférieur à 7,5 cm. Les segments de végétation sont notés sur un schéma de la placette prévu à cet effet. Ces transects sont effectués en même temps que le balayage de la placette afin d'optimiser le temps du relevé (fig. 13).

Ce protocole est issu d'une combinaison de deux méthodes. Les huit transects sont inspirés d'une étude portant sur les remises nocturnes de cigognes noires en Afrique, bien que l'étude de la régénération soit réalisée par le réseau Association Futaie Irrégulière (AFI) dans le cadre de placettes permanentes dans des peuplements irréguliers (Chevallier et al., 2010c ; Bruciamacchie, 1991).

Le format de placettes circulaires, employé dans d'autres études portant sur la caractérisation des sites de nidification de diverses espèces, est très variable. La surface décrite peut varier de 0,04 ha jusqu'à plusieurs dizaines d'hectares. Par exemple, la caractérisation des sites de nidification de circaètes Jean-le-Blanc est réalisée à partir de placettes 0,4 ha, centrées sur l'arbre porteur de nid (James et Shugart, 1970 ; Speiser et Bosakowski, 1987 ; Bakaloudis et al., 2001 ; McGrath et al., 2003, Vlachos et al., 2008). Ainsi la placette adoptée de 30 m de rayon, soit 0,28 ha, est ainsi raisonnable par rapport à ces études, et définie après discussion sur le terrain. En particulier, ces placettes sont proches des placettes réalisées dans le cadre de l'AFI (Bruciamacchie, 1991).

Le relevé commence par les arbres situés au Nord, puis la placette est balayée par l'Ouest (fig. 13). Pour chacun, sont notés :

- l'essence,
- le diamètre non compensé en centimètres à l'aide d'un compas forestier en réalisant deux mesures croisées,
- la distance de la tige à l'arbre porteur de nid en mètres à l'aide d'un télémètre,
- l'azimut de l'individu par rapport au nord avec une boussole,
- une indication renseignant si l'arbre est mort ou non, et
- l'estimation du couvert du tronc par les bryophytes.

Les quatre premiers paramètres sont également relevés dans le protocole de l'AFI (Bruciamacchie, 1991). Un bois mort sur pied est défini comme un « arbre ne présentant aucun signe de vie au-dessus de 1,30 m, et toujours sur pied, cassé ou non au niveau du tronc ou de son houppier » (IGN, 2017). Le bois mort sur pied est également relevé dans le cadre des placettes permanentes dans les peuplements irréguliers (Bruciamacchie, 1991).

De plus, suite à ce tour dendrométrique, la hauteur totale en mètres de l'arbre porteur de nid ainsi que des deux plus gros arbres de la placette, deux mesures au vertex sont réalisées pour chacun, ainsi que la hauteur totale d'un brin dans le rayon de 15 m autour de l'arbre porteur. Une note d'état sanitaire (annexe n° 2) est attribuée à l'arbre porteur ainsi qu'aux arbres dont les houppiers sont directement à son contact, en suivant le protocole « DEPERIS » (Nageleisen et al., 2017).

Enfin, la disponibilité en matériaux potentiellement constitutifs du nid à proximité de ce dernier est estimée par la mise en place de trois quadras d'une surface de 1m² au sein de la placette. Les quadrats sont disposés à 30 m de l'arbre porteur de nid, respectivement à 0 gr, 133 gr et 267 gr (fig. 14) et permettent le dénombrement de tous les rameaux de plus de 20 cm de longueur inclus complètement ou partiellement dans le quadrat. Il s'agit du dernier descripteur relevé d'une placette.

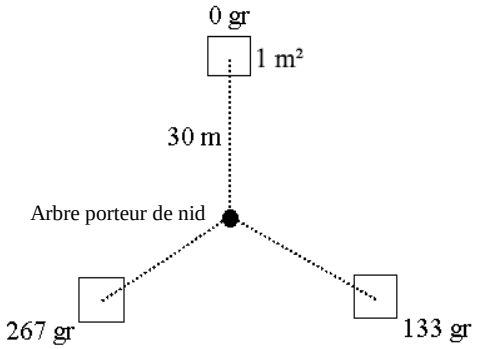


Figure 14 : Évaluation de la disponibilité en matériaux potentiellement constitutifs d'un nid, quadrats de 1 m²

2.3. Traitement des données

2.3.1. Données de caractérisation des sites de nidification

Les données utilisées pour la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire sont directement ou indirectement issues des relevés détaillés par le protocole précédent.

Dans un premier temps, les descripteurs ont été analysés par le biais des statistiques descriptives. Puis les relations entre les variables ont été étudiées en réalisant des statistiques multivariées. Les différentes échelles ont tout d'abord été analysées de façon séparée à l'aide d'analyse en composantes principales (ACP) et de matrices de corrélations. Ensuite, une analyse factorielle multiple (AFM) a été effectuée pour traiter les différentes échelles d'habitat dans la même analyse. Ce type d'analyse est plus adapté pour traiter de grands jeux de données.

Dans un deuxième temps, les résultats fournis par les statistiques multivariées ont permis de sélectionner certains descripteurs pertinents pour affiner les relations qui s'établissent entre eux, en mêlant en particulier les différentes échelles de l'étude. Cette étape est l'occasion, en particulier, de traiter avec précision les variables qualitatives. Pour ces variables, le test d'homogénéité exact de Fisher a été réalisé, ce test s'utilisant dans les mêmes conditions qu'un test du chi2 mais s'affranchissant des contraintes en termes de taille d'échantillon. Pour les variables quantitatives, le test de comparaison de moyenne, ou t-test, a été

réalisé pour des échantillons appariés. Avant d'effectuer ce test, un test de Shapiro-Wilk est effectué afin de s'assurer de la normalité des variables testées. Lorsque les variables ne remplissent pas cette hypothèse, un test non paramétrique de Wilcoxon est réalisé.

Enfin, certaines données issues des relevés de terrain ont été comparées avec les données issues de l'IFN. Les moyennes pour certains paramètres étudiés en commun étant accessibles sur le site de l'IGN, des tests de comparaison à une moyenne ont été réalisés. Pour les variables suivant une loi normale, le test paramétrique de student a été effectué, pour les autres, le test des rangs de Wilcoxon a été exécuté. L'ensemble de ces analyses a été entièrement réalisé à l'aide du logiciel R. Le seuil de significativité des tests est considéré à $\alpha < 0,05$.

2.3.2. Approche LIDAR

Très peu de temps avant le début du stage, un relevé LIDAR terrestre a été effectué sur l'un des sites de nidification caractérisé par la présente étude. Il s'agit d'une technologie de très haute précision s'appuyant sur l'émission et la réception de rayons lasers, aboutissant notamment à une digitalisation de la zone étudiée, c'est-à-dire, le site étudié est retranscrit de façon numérique (Piboule, 2014).

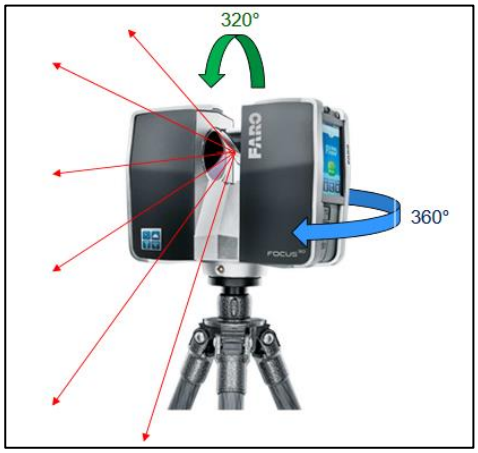


Figure 15 : Le LIDAR terrestre (Piboule, 2014)

En effet, les données issues d'un scan lidar sont présentées sous la forme de nuages de points ; de l'ordre du million de points. Ces points représentent la percussion des rayons émis à divers obstacles du site étudié que sont les arbres, le sol, etc. Les rayons ayant percuté un obstacle sont captés par le récepteur du LIDAR et une image en 3D de la scène étudiée est ainsi obtenue. Suite à une période de traitement des données obtenues, une session d'échanges et de formation sur le logiciel Computree® ont permis d'obtenir des résultats concluants sur l'apport de cette méthode pour la caractérisation des sites de nidification.

En résumé :

Trente-et-un sites de nidification de cigognes noires, non occupés en 2018 dans le but de garantir la quiétude nécessaire à ces oiseaux très sensibles au dérangement, ont été localisés et étudiés. Afin d'assurer une caractérisation fidèle aux conditions qui existaient lorsque les couples nicheurs ont sélectionné leurs sites de nidification, seuls ont été choisis les sites occupés entre 2013 et 2017 n'ayant pas connu de modifications du paysage dans un rayon de 30 mètres depuis leur dernière occupation. Un protocole de terrain, élaboré après avoir défini les descripteurs à étudier, permet la collecte des données, ensuite soumises à diverses analyses statistiques. Les descripteurs sélectionnés permettent d'aborder l'échelle du paysage, de macro-habitat et du micro-habitat mais aussi l'historique du site.

3. Résultats

3.1. Une mosaïque de caractéristiques pour les sites de nidification de la cigogne noire

Les 31 sites de nidification étudiés sont décrits par 84 variables. Dans un souci de lisibilité des analyses multivariées, ces premiers résultats sont présentés par échelle d'habitat.

3.1.1. Contexte des sites de nidification étudiés et expérience des couples nicheurs

Parmi les 31 sites de nidification décrits, une part conséquente se trouve en forêts domaniales (FD) et communales (FC) (fig. 16). Seul un site a été décrit en forêt privée (FP) (fig. 16). Ce déséquilibre s'explique dans un premier temps par les moyens humains de l'étude ; la majorité des personnes contactées faisait partie de l'ONF, concernant en général la forêt publique : beaucoup plus de personnes étaient donc disponibles pour réaliser les relevés dans ces forêts. De plus, il existe *a priori* beaucoup plus de sites connus dans ces forêts que dans les forêts privées, visiblement moins prospectées. En effet, du fait de leur statut, il est parfois difficile et fastidieux d'obtenir l'autorisation du propriétaire pour se rendre sur le site et vérifier la présence d'un nid, et encore plus pour pouvoir réaliser un suivi. De ce fait, il est très difficile d'évaluer le nombre de nids potentiellement installés en forêt privée.

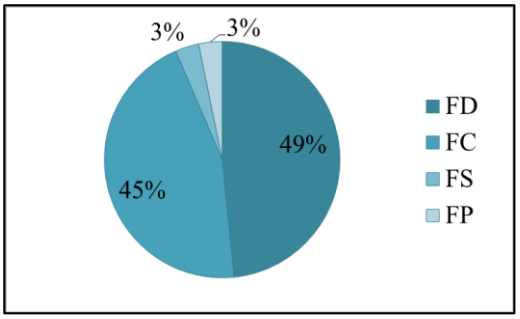


Figure 16 : Propriété forestière des sites étudiés (FD : forêt domaniale ; FC : forêt communale ; FS : forêt syndicale ; FP : forêt privée), n = 31

Pour commencer la caractérisation des sites étudiés, il semble important d'étudier l'historique des sites en termes d'occupation et de succès de reproduction. L'hypothèse étant que des sites occupés plus longuement ou produisant plus de jeunes sont des sites présentant une meilleure combinaison de facteurs favorables à la reproduction de la cigogne noire.

Dans un premier temps, des boîtes à moustaches permettent de résumer le jeu de données et comprendre la distribution des observations (fig. 17). Ces diagrammes sont complétés par un tableau présentant les moyennes avec leurs erreurs types pour chaque descripteur (tableau 9). En moyenne, le nombre de jeunes bagués par nichée sur les sites étudiés est de 2,27 ± 0,27 (tableau 9). Les valeurs vont de 0 à 4 jeunes bagués, mais la moitié des sites présente plus de 3 jeunes bagués (fig. 17). Cet descripteur sous-estime toutefois très certainement le nombre de jeunes produits par nichée. En effet, certaines nichées n'ont pas été baguées ; pour autant, il a pu y avoir des jeunes.

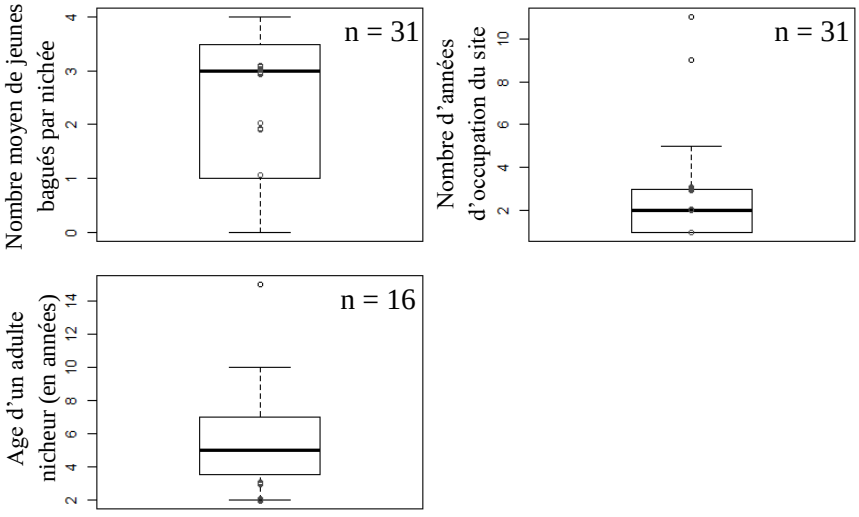


Figure 17 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des données pour les descripteurs portant sur l'historique des sites de nidification étudiés

Concernant la

fréquentation des sites par les couples, ils sont occupés en moyenne 2,58 ± 0,41 ans (tableau 9). L'étendue pour cet descripteur est assez réduite, la moitié des sites est occupée entre une et trois fois (fig. 17). Cet descripteur est complété par le caractère continu ou non des occupations (fig. 18). Pour plus de la moitié des sites, lorsqu'un couple s'installe, celui-ci le fréquente de façon continue (fig. 18), c'est-à-dire que les oiseaux fréquentent le même site quelques années de suite. Une certaine proportion de sites (39%) n'est occupée qu'une seule fois (fig. 18). Ils pourront éventuellement être réoccupés plus tard puisque quelques sites montrent une fréquentation interrompue. Néanmoins, il n'est pas possible d'affirmer qu'il s'agira du même couple, les sites étudiés occupés de façon interrompue n'étant fréquentés que par des individus non bagués.

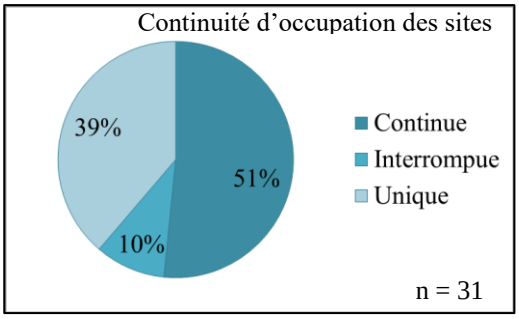


Figure 18 : Continuité dans l'occupation des sites de nidification

Enfin, l'descripteur portant sur l'âge des cigognes noires n'a pas pu être complété pour tous les individus. En effet, connaître l'âge précis, au moins à l'année près, d'une cigogne noire implique qu'elle ait été baguée au nid. Pour les 31 sites étudiés, 12 sites ont été occupés par des oiseaux non bagués, ou non observés. Trois autres sites ont été occupés par des individus bagués après capture dans une cage-piège, leur âge exact n'est donc pas connu. En revanche, pour les 16 autres, au moins un des deux oiseaux nicheurs était bagué au nid ; pour l'unique couple dont les deux individus sont connus, l'âge est le même.

De plus, l'âge étudié correspond à l'âge des cigognes lors de leur première nichée connue sur le site. C'est donc l'âge auquel les individus ont choisi le site. Dès lors, les cigognes noires nicheuses sur les sites étudiés ont en moyenne 5,75 ± 0,8 ans au moment de la première nidification sur le site, cet descripteur variant, pour la moitié des individus, entre 3,5 et 7 ans (fig. 17, tableau 9).

Tableau 9: Moyennes et erreurs types des descripteurs portant sur l'historique des sites de nidification étudiés

Variable	Moyenne et erreur type
Nombre moyen de jeunes bagués par nichée	2,27 ± 0,27
Nombre d'années d'occupation certaine du site	2,58 ± 0,41
Age d'un adulte nicheur du site	5,75 ± 0,8

Une ACP a été réalisée pour éventuellement mettre en lumière des liens entre ces descripteurs. Cette analyse présente une liaison positive entre l'âge des cigognes nicheuses et le nombre d'années d'occupation certaine des sites (fig. 19, a.). Cette relation est validée par le corrélogramme ci-dessous, elle est significative et relativement forte ($r^2 = 0,71$; p-value < 0.001) (fig. 19, b.).

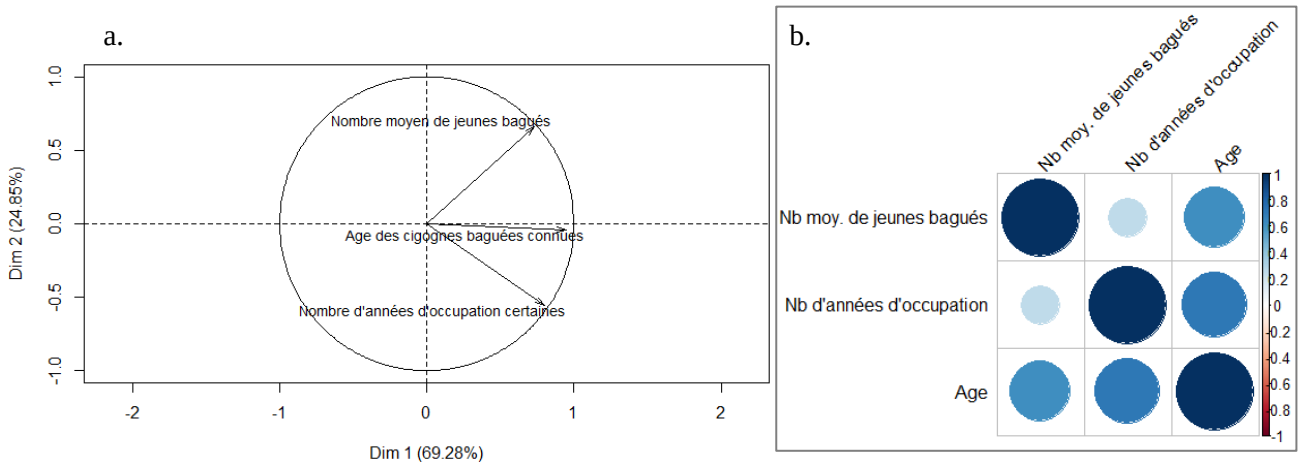


Figure 19 : a. ACP réalisée sur les descripteurs liés à l'historique des sites, b. Corrélogramme portant sur les descripteurs liés à l'historique des sites

Une seconde relation positive et significative (r^2 = 0,62 ; p-value = 0,0002) est également révélée entre le nombre moyen de jeunes bagués par nichée et l'âge des adultes nicheurs (fig. 19, a.). Ces résultats semblent mettre en évidence un effet d'expérience des individus : les sites investis par des cigognes noires plus âgées sont généralement les sites occupés le plus de fois, mais ce sont également des sites pour lesquels il y aurait plus de jeunes bagués par nichée.

Ces résultats sont précisés en réalisant le graphique des sites étudiés en regard de la variable qualitative portant sur le caractère continu dans l'occupation des sites (fig. 20).

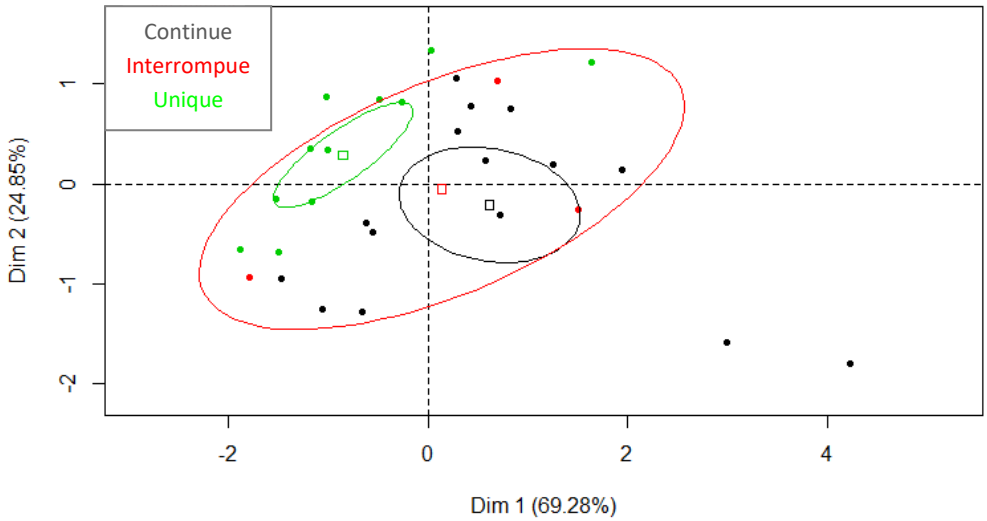


Figure 20 : Diagramme des individus et ellipses de confiance en fonction de la continuité dans l'occupation des sites

Des ellipses de confiance ont été tracées en fonction de la continuité de l'occupation des sites (fig. 20). Ces ellipses illustrent les éventuelles disjonctions entres les modalités de l'descripteur. Les ellipses des modalités « unique » et « continue » sont effectivement disjointes (fig. 20). L'âge des cigognes noires contribuant majoritairement à l'axe 1, il semblerait, de fait, que les sites occupés de façon continue soient les sites choisis par des cigognes plus âgées. Les cigognes noires plus âgées auraient ainsi tendance à réoccuper plus longtemps les sites investis et de façon continue ; peut-être est-ce l'effet de l'expérience menant au choix de sites plus adaptés aux besoins de l'oiseau en période de reproduction, ce qui semble transparaître dans le nombre de juvéniles bagués, plus élevé pour ces oiseaux et gage du succès de la reproduction.

Néanmoins, ces résultats sont à préciser avec l'évolution de ces descripteurs lors d'un changement de site. Parmi les oiseaux nicheurs bagués sur les 31 sites étudiés, seuls quatre d'entre eux ont occupé au minimum deux sites parmi ceux étudiés. Pour deux de ces oiseaux, le changement de site a mené à une augmentation du nombre de jeunes bagués. Concernant les deux autres, il n'y a pas eu de baguage au nid pour l'une des deux nichées. Il n'est donc pas possible de conclure sur l'évolution du nombre de jeunes bagués après le changement de site pour ces individus. En ce qui concerne le nombre d'années d'occupation du site, il augmente pour un seul individu, restant stable pour les trois autres.

En résumé :

Les sites étudiés sont majoritairement des sites en forêt publique, occupés généralement de façon continue entre deux et trois années de suite. L'âge des cigognes noires à la première nichée sur les sites en question est compris entre 5 et 6 ans, avec un nombre moyen de jeunes bagués par nichée de deux à trois individus.

L'analyse de l'historique des sites investis montre que les cigognes noires les plus âgées occupent les sites plus longtemps et de façon continue. Elles produiraient également plus de juvéniles, bagués que des individus plus jeunes.

3.1.2. L'échelle du paysage : les abords du nid au-delà d'un rayon de 30 m autour de l'arbre porteur du nid

La même démarche d'analyse est employée pour les descripteurs paysagers. Des graphiques en secteurs permettent, en plus, de prendre en compte les variables qualitatives de cette échelle (fig. 22).

Les résultats présentés ci-dessous semblent mettre en évidence l'effet d'un gradient de fréquentation des routes sur les distances présentées par les sites par rapport à ces entités. En effet, les routes les plus fréquentées, à une distance moyenne de 1 851 ± 208,3 m des sites (tableau 9), présentent des distances globalement plus grandes que les routes peu fréquentées ou fermées à la circulation, avec respectivement des moyennes de 887,5 ± 77,9 m et 404,5 ± 93,6 m aux sites (fig. 21, tableau 10).

La distance du site aux circuits de randonnée ou autres circuits à attrait touristique montre une boîte à moustaches de grande amplitude, allant de 1 490 à 4 047 m, indiquant des distances encore plus importantes que les descripteurs précédents (fig. 21, tableau 10). Les valeurs extrêmes sont très asymétriques, et tendent vers des distances maximales de 8 km, tandis que les distances minimales sont d'à peine de 200 m (fig. 21).

L'amplitude des distances aux lignes de parcelle semble assez grande (fig. 21). Néanmoins, la moitié des sites se situe à moins de 53 m des lignes, avec une moyenne à 50,2 ± 7.3 m (fig. 21, tableau 10). De plus, environ un tiers des sites se situe en bordure d'un cloisonnement (fig. 22, a.).

Les distances entre le nid et le ruisseau permanent le plus proche ainsi que l'entité d'eau stagnante la plus proche montrent des distributions assez similaires (fig. 21). Bien qu'il ne soit pas possible, dans le cadre de cette étude, de savoir si ces ruisseaux et mares sont effectivement utilisés par l'oiseau, plus de ¾ des nids se situe en tête de bassin versant (fig. 22, b.), des zones préférentielles pour l'alimentation de l'espèce. Les nids ne se trouvant pas en tête de bassin versant ne sont visiblement pas le résultat d'une compétition avec les autres nids occupés simultanément (test exact de Fisher ; p-value > 0,05).

La moitié des sites étudiés sont à des distances comprises entre 27 et 920 m pour les ruisseaux les plus proches, et 50 et 917 m pour l'étendue d'eau stagnante la plus proche (fig. 21).

Les résultats concernant les habitations montrent une distance moyenne de 1 342,2 ± 133,6 m, avec une distribution relativement proche de celles concernant les ruisseaux permanents ou bien les étendues d'eau stagnantes (fig. 21, tableau 10). De plus, la commune la plus proche des sites étudiés n'atteint pas 100 habitants pour ¾ des sites (fig. 22, c.).

La distance à la lisière forestière suit une distribution relativement centrée (fig. 21). La moitié des sites sont distants de 465 à 1 166 m de la lisière la plus proche (fig. 21). En moyenne, cette distance est de 966,2 ± 134,1 m (tableau 10), ce qui représente une distance relativement faible pour un oiseau tel que la cigogne noire. La majorité des sites se trouvent dans des massifs dont la surface est comprise entre 985 et 3 299 ha avec une moyenne de 4 324,1 ± 1 114,8 ha (fig. 21, tableau 10).

La distance entre le site étudié et un autre site occupé de façon simultanée présente une très grande amplitude et une asymétrie à gauche (fig. 21). En effet, ces distances varient de 2,25 km jusqu'à 88,2 km pour les valeurs extrêmes, la médiane et la moyenne avoisinant les 20 km (fig. 21). Bien qu'il soit possible de penser que des sites de nidification proches soient en compétition, le nombre moyen de jeunes bagués par nichée n'est visiblement pas lié à l'descripteur (r^2 = -0,15 ; p-value = 0,4335).

Tableau 10 : Moyennes et erreurs types des descripteurs quantitatifs à l'échelle du paysage

Variable	Moyenne et erreur type
Distance à la route ouverte très fréquentée	1 851 ± 208,3 m
Distance à la route ouverte peu fréquentée	887,5 ± 77,9 m
Distance au circuit de randonnée	2 863,2 ± 433,9 m
Distance à la route forestière fermée	404,5 ± 93,6 m
Distance à la ligne de parcelle	50,2 ± 7,3 m
Distance au ruisseau permanent	1 058,6 ± 131,9 m
Distance à l'entité d'eau stagnante	1 165,1 ± 184,9 m
Distance à l'habitation	1 342,2 ± 133,6 m
Distance à la lisière	966,2 ± 134,1 m
Distance au nid occupé simultanément	28 159,2 ± 3 971, 7 m
Surface du massif forestier investi	4 324,1 ± 1 114,8 ha

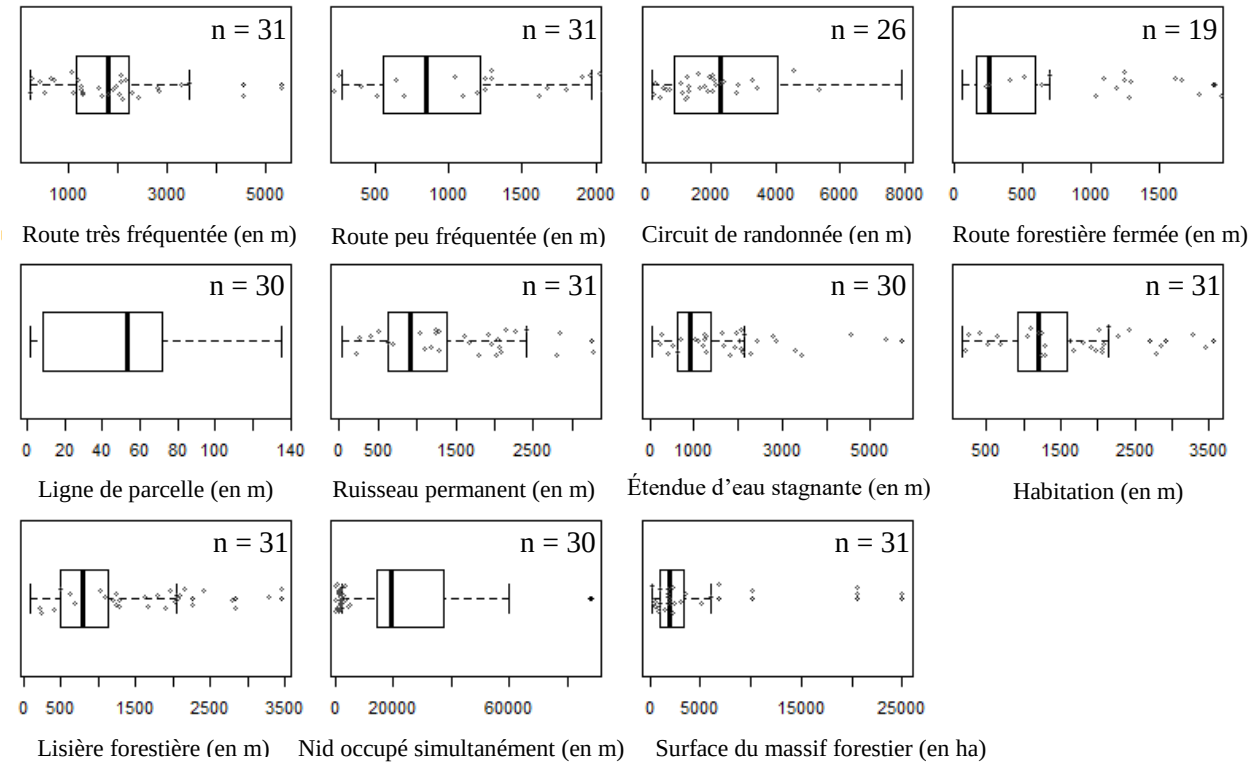


Figure 21 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des distances entre les sites de nidification et diverses entités du paysage

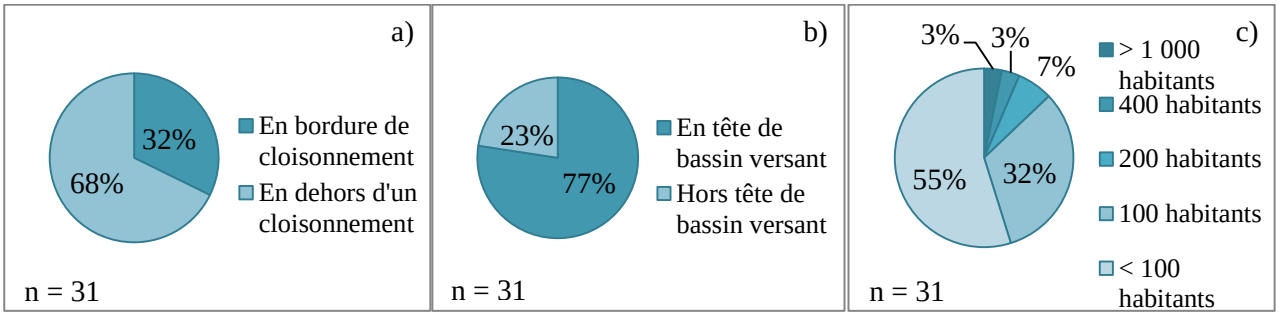


Figure 22 : Représentation des variables qualitatives à l'échelle du paysage : a) position du nid par rapport au cloisonnement le plus proche, b) position du nid par rapport aux têtes de bassin versant, c) estimation du nombre d'habitants dans la ville la plus proche du site de nidification, source : IGN Scan 25

Dans un second temps, une ACP a été réalisée dans le but d'obtenir un autre aperçu des données, mais également de faire apparaître des relations entre les variables étudiées (fig. 23). La variable concernant le nombre d'années d'occupation certaine du site est ajoutée dans l'analyse afin d'éventuellement révéler des entités favorables ou non à la nidification de la cigogne noire. Les descripteurs de distance entre les sites et les ruisseaux permanents, routes forestières et lignes de parcelles contribuent le moins à la discrimination des sites entre eux (fig. 23), ce sont donc les variables pour lesquelles les sites présentent le plus d'homogénéité.

Un corrélogramme a été réalisé pour quantifier les relations entre les variables (annexe n° 4). Une seule corrélation négative, peu forte mais significative (r^2 = -0,39 ; p-value = 0,0295), entre le nombre d'années d'occupation du site et la distance de ce dernier à la ligne de parcelle est également établie (fig. 23).

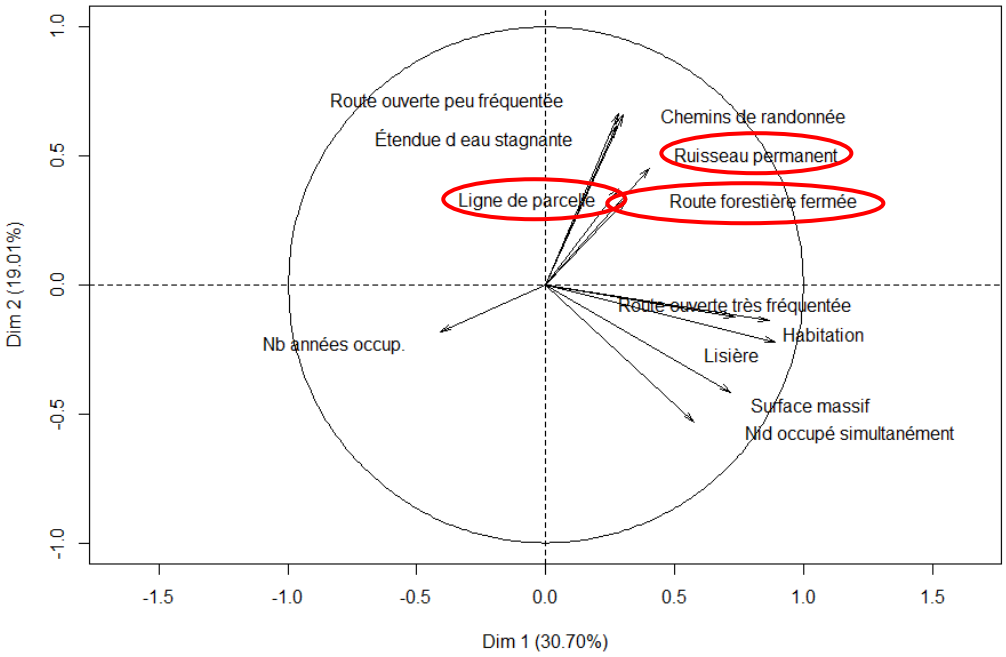


Figure 23 : ACP réalisée sur les descripteurs à l'échelle du paysage

De plus, les sites les plus distants des autres sites occupés en même temps seraient les sites dont les massifs occupés sont les plus grands (fig. 23), ces descripteurs étant corrélés positivement (r^2 = 0,42 ; p-value = 0,0182). Il semblera difficile d'interpréter ce résultat, en particulier, il serait nécessaire de tenir compte d'autres paramètres, comme par exemple de la saturation en couples de la région.

En résumé :

D'un point de vue paysager, les sites de nidification de cigognes noires semblent montrer un gradient d'éloignement croissant avec la fréquentation des routes étudiées, allant en moyenne de 405 m pour les routes forestières fermées à la circulation, à 1 851 m pour les routes très fréquentées.

Les distances entre les sites et les circuits de randonnée ou les habitations sont très variables, avec des valeurs minimales inférieures à 200 m, et des valeurs maximales allant de 3 à 8 km. Néanmoins, les sites se trouvent dans des espaces présentant de faibles densités de population, en particulier, les villages les plus proches des nids ont généralement moins de 100 habitants.

Un certain nombre de sites se trouve à proximité des lignes de parcelles et d'un cloisonnement ; les nids en bordure de ces entités seraient occupés plus de fois.

Les entités plutôt attractives pour les cigognes noires telles que les petits ruisseaux et étendues d'eau stagnantes se situent à moins de 1 km des sites pour la majorité d'entre eux. La distance du site à la lisière forestière suivrait ces valeurs, cette distance étant relativement faible par rapport à la taille des massifs investis, de l'ordre de 4 000 ha en moyenne.

Un éventuel effet de compétition pouvant être exercé par la présence d'un second nid occupé de façon simultanée n'est pas avéré, les distances étant très variables et n'influençant visiblement pas le nombre de jeunes.

Les facteurs pour lesquels les sites présentent une homogénéité validée sont la distance au ruisseau le plus proche, la distance à la ligne de parcelle la plus proche et la distance à la route forestière la plus proche.

3.1.3. Le macro-habitat : l'environnement autour du nid dans un rayon de 30 m

Le macro-habitat représente les environs de l'arbre porteur de nid dans un rayon de 30 m, il s'agit d'une échelle bien plus locale que l'échelle paysagère vue précédemment. Concernant la topographie des sites étudiés, deux situations se distinguent : près de la moitié des sites est en situation de plateau, l'autre moitié se trouve dans la partie médiane ou supérieure d'une pente (fig. 25). Pour les sites en contexte de pente, celle-ci est relativement faible, de l'ordre de quelques pourcents (fig. 24, tableau 11). L'altitude des sites est comprise entre 183 et 503 m (fig. 24).

La richesse en essences des sites étudiés est très variable, bien que la moitié d'entre eux dénombre entre 3 et 4 essences différentes, les chênes, hêtres et charmes étant les essences majoritaires les plus rencontrées (fig. 25). Le peuplement présente une structure verticale étagée pour la majorité des sites, en lien avec le traitement sylvicole mis en œuvre sur la plus grande partie des parcelles concernées : le TSF (fig. 25). Les peuplements de feuillus purs sont les plus investis (fig. 25).

Pour ce qui est de la consistance des peuplements environnant les nids de cigognes noires, le couvert arboré est dense, moyennant les 76 % ± 2,3 %, ce qui n'est pas le cas du couvert par la strate arbustive avec une moyenne de 36,1 ± 5,4 % (fig. 24, tableau 11). Pour les strates inférieures, les sites sont caractérisés par un couvert par les gaules présentant une faible dispersion, comprise entre 1,7 et 10,8 % (fig. 24).

De plus, les sites sont assez riches, présentant une surface terrière moyenne de 23,6 ± 1 m²/ha (fig. 24, tableau 11). La dispersion des données est faible, révélant des sites dont les peuplements sont relativement assez fermés. Néanmoins, ils montrent un nombre de couloirs d'arrivée potentiels au nid de 6 en moyenne (tableau 11).

Les peuplements étudiés présentent un diamètre moyen à l'échelle de la placette de 45,5 ± 1,5 cm et un diamètre dominant de 52,8 ± 1,2 cm (tableau 11). Ces résultats sont néanmoins très variables d'après l'étendue des distributions de ces paramètres (fig. 24). On constate une moyenne du diamètre moyen dans un rayon de 10 m autour de l'arbre porteur de nid inférieure à celle pour la totalité de la placette, elle est de 40,9 ± 2,0 cm (tableau 11). Néanmoins, cette différence n'est pas significative, il n'est pas possible de conclure sur l'existence d'un gradient négatif de diamètre des arbres en s'approchant du nid (t-test ; p-value > 0,05).

Les deux plus gros arbres de la placette ont une hauteur comprise entre 27,7 et 33 m pour la moitié des sites, l'amplitude est donc relativement faible (fig. 24). En revanche, la hauteur du taillis à proximité de l'arbre porteur de nid est très variable, bien que la moitié des sites présente une hauteur de taillis inférieure à 14,6 m (fig. 24). Cet descripteur n'est néanmoins pas décisif dans la détermination de la hauteur du nid dans l'arbre (t-test ; p-value > 0,05). La structure des peuplements investis pour la nidification de la cigogne noire se compose en moyenne de 16 % de PB, 45 % de BM, 39 % de GB (dont TGB) (tableau 11).

En ce qui concerne les descripteurs relevant de l'accessibilité du site pour les cigognes noires, le nombre de bois morts debout est assez faible, pour 71 % des sites, il est même nul (fig. 24). De même, la distance entre le nid et la trouée la plus proche est très variable, néanmoins, 77 % des sites présentent une trouée dans les 30 m de rayon autour de l'arbre porteur (tableau 11). Bien qu'il ne soit pas possible de savoir pour chaque trouée si elle est utilisée par les adultes pour le passage sous les houppiers, ces sites présentent presque tous au moins une possibilité d'accès direct au nid. L'état sanitaire des arbres dont les houppiers sont

en contact direct avec le houppier de l'arbre porteur est très variable, bien que plus de la moitié de ces arbres soit en très bon état (fig. 25).

Enfin, les ressources disponibles sur le site pouvant éventuellement convenir pour l'élaboration d'un nid présentent une certaine variabilité ; le nombre de branches au sol au m² est compris entre 3 et 6,3 pour la moitié des sites étudiés, le couvert moyen des arbres de la placette par les mousses est compris entre 43,1 et 69,7 % (fig. 24).

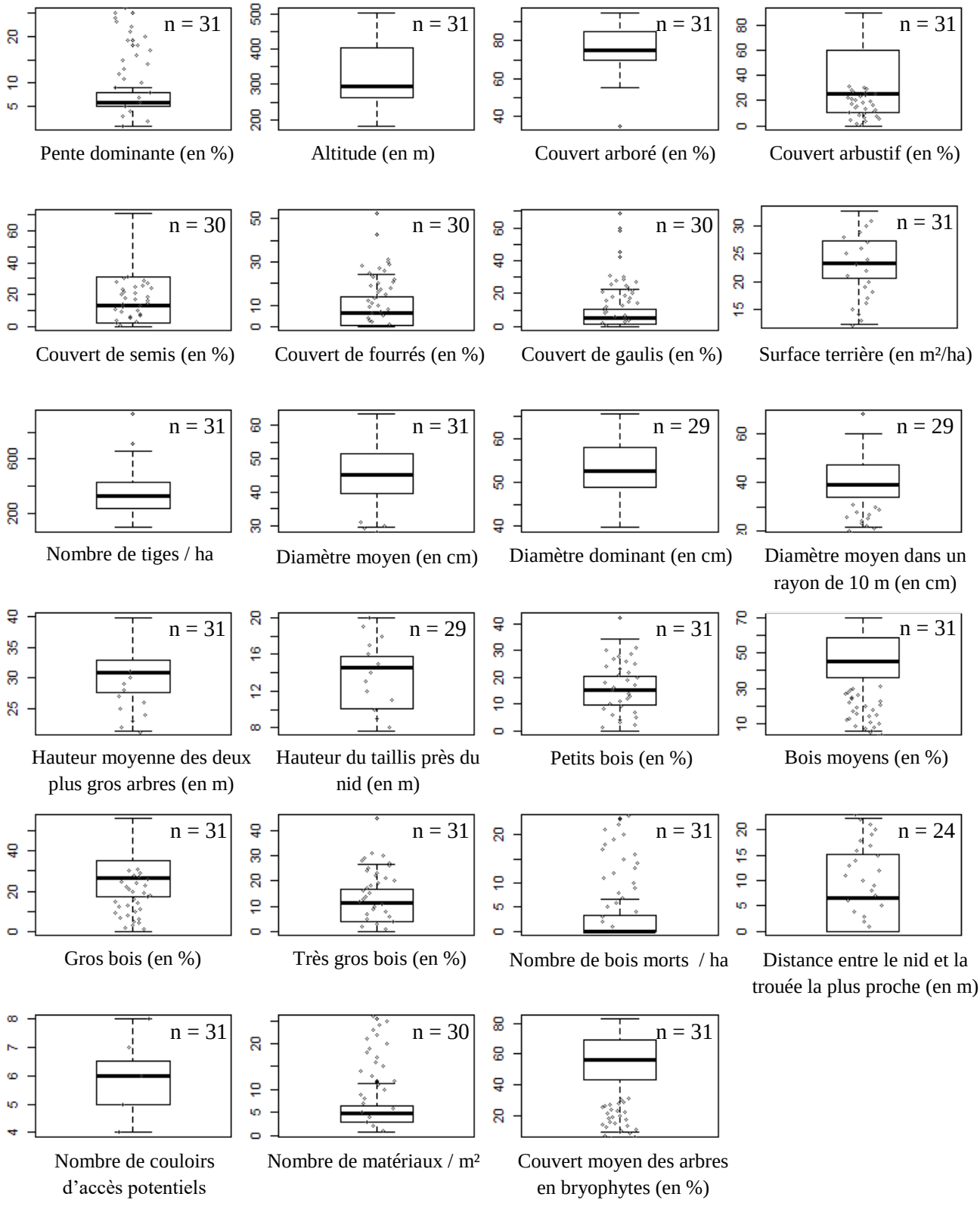


Figure 24 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des valeurs pour chaque variable quantitative étudiée pour le macro-habitat

Tableau 11 : Moyennes et erreurs types des descripteurs quantitatifs à l'échelle du macro-habitat

Variable	Moyenne et erreur type
Pente dominante	4,0 ± 1,1 %
Altitude	331,2 ± 16,2 m
Couvert arboré	76,3 ± 2,3 %
Couvert arbustif	36,1 ± 5,4 %
Couvert de semis	18,3 ± 3,5 %
Couvert de fourrés	10,3 ± 2,2 %
Couvert de gaulis	13,4 ± 3,5 %
Surface terrière	23,6 ± 1 m²/ha
Nombre de tiges à l'hectare	355,8 ± 33,6 tiges/ha
Diamètre moyen	45,5 ± 1,5 cm
Diamètre dominant	52,8 ± 1,2 cm
Diamètre moyen dans un rayon de 10 m	40,9 ± 2,0 cm
Hauteur moyenne des 2 plus gros arbres	30,6 ± 4,1 m
Hauteur du taillis	13,7 ± 3,6 m
Petits bois (PB)	16,3 ± 1,7 %
Bois moyens (MB)	45,1 ± 3,0 %
Gros bois (GB)	26,8 ± 2,5 %
Très gros bois (TGB)	11,7 ± 1,8 %
Nombre de bois morts debout à l'hectare	2,0 ± 0,8 tiges/ha
Distance entre le nid et la trouée la plus proche	8,4 ± 1,7 m
Nombre de couloirs d'accès potentiels	5,9 ± 0,2 couloirs
Nombre de matériaux au m²	5,7 ± 0,8 matériaux/m²
Couvert moyen des arbres par les bryophytes	54,1 ± 3,5 %

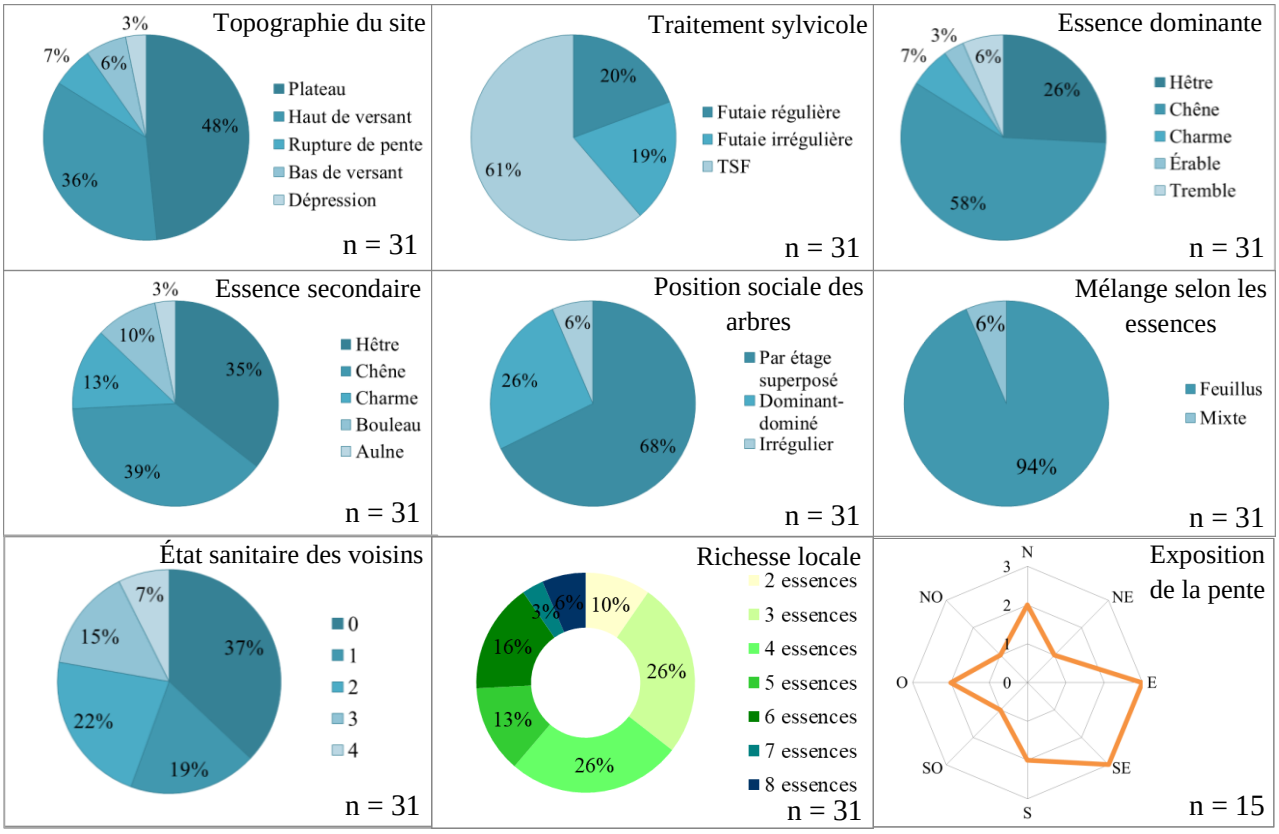


Figure 25 : Représentations graphiques des variables qualitatives caractérisant le macro-habitat des sites de nidification de cigognes noires

Une ACP est ensuite réalisée, suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) afin de mettre en exergue différents types de sites.

La dimension 1 discrimine ainsi les sites selon les diamètres moyens (« dhp moyen ») et diamètres dominants (« dhp domin. ») du peuplement de la placette, tandis que l'axe 2 les discrimine selon leur pourcentage en couvert arbustif (« % couv. arbustif ») et couvert de gaulis (« % couv. gaulis ») (fig. 26, a.). Ce sont donc visiblement les descripteurs liés à la consistance et à la structure du site qui discriminent les sites entre eux à l'échelle du macro-habitat. Les variables apparaissant en gris ou en bleu, à l'inverse, sont les variables pour lesquelles les sites présentent le plus d'homogénéité : la pente, l'altitude, la surface terrière (G), le couvert par les fourrés, la hauteur du taillis ou encore le nombre de couloirs d'accès potentiels au nid (fig. 26, a).

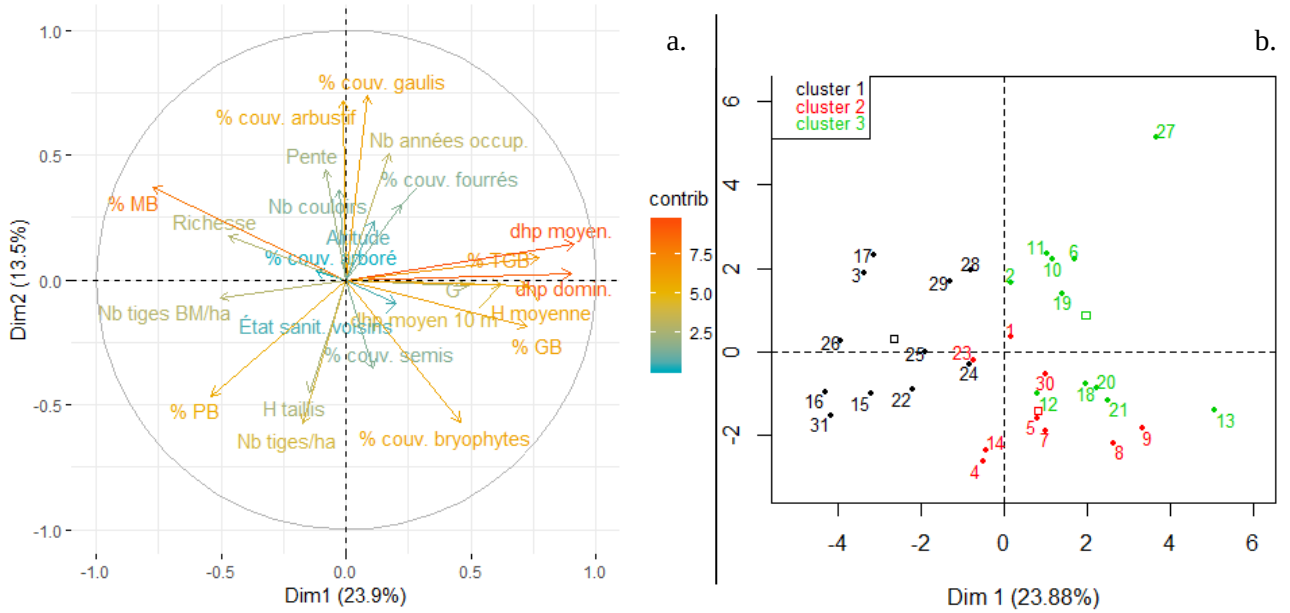


Figure 26 : a. ACP réalisée sur les descripteurs caractérisant le macro-habitat des sites de nidification de cigognes noires. Les variables sont colorées en fonction de leur contribution aux dimensions. b. CAH réalisée suite à l'ACP

Le nuage de points est relativement centré mais assez étalé ce qui traduit une hétérogénéité dans les sites choisis. En outre, trois types de sites sont mis en exergue par les analyses multivariées réalisées. Le premier type regroupe, en noir, les sites présentant des diamètres moyens et diamètres dominants plus faibles que les autres groupes (fig. 26). Les deux autres groupes se distinguent entre eux par leurs pourcentages de couvert par la strate arbustive et par le gaulis ; les individus en vert présentent des pourcentages plus élevés que les individus en rouge pour ces descripteurs (fig. 26).

De plus, les corrélations entre les variables étudiées ont été réalisées (annexe n° 5). En particulier, une corrélation positive et significative est établie entre le pourcentage de couvert par le gaulis de la placette et le nombre d'années d'occupation certaine du site ($r^2 = 0,49$; p-value = 0,0056) (annexe n° 5). De même, une relation similaire est mise en évidence entre le nombre de couloirs potentiels et le nombre d'années d'occupation ($r^2 = 0,36$; p-value = 0,0469) (annexe n° 5).

En résumé :

Les sites de nidification de cigognes noires se situent majoritairement en contexte de plateau ou bien en haut de versant, le terrain n'étant pas forcément escarpé.

Les peuplements de feuillus purs sont les plus investis et ne présentent pas nécessairement une richesse locale très élevée en ce qui concerne les essences pré-comptables. Le TSF est le traitement sylvicole le plus visité. Le couvert arboré atteint en moyenne plus de 75 %, ce qui n'est pas le cas du couvert arbustif (36 %). Néanmoins, les sites le plus de fois occupés présentent le plus de possibilités de dissimulation du nid par les strates inférieures.

Les placettes étudiées montrent des diamètres moyens et dominants relativement élevés, dont les moyennes sont respectivement de 46 et 53 cm. Aucun gradient de diamètre n'a été constaté à mesure que l'on se rapproche du nid. Les peuplements se composent en moyenne de 16 % de PB, 45 % de BM et 39 % de GB (dont TGB). La hauteur du taillis à proximité de l'arbre porteur ne semble pas impacter la hauteur du nid dans l'arbre. La hauteur moyenne des deux plus gros arbres des parcelles semble homogène, avec une moyenne à 31 m.

Les surfaces terrières sont assez élevées, de l'ordre de 23,6 m² / ha, mais les peuplements forment tout de même des couloirs d'arrivée. Les sites en présentant le plus sont les plus longuement occupés. Des trouées dans l'environnement proche du nid sont présentes pour 77 % des sites.

Le nombre de bois morts au m² ne semble pas être un descripteur décisif dans le choix du site, de même que les descripteurs portant sur la disponibilité en ressources potentiellement constitutives du nid, bien que les sites offrent généralement tous les ressources nécessaires à l'élaboration d'un nid.

Globalement, les facteurs discriminant les sites correspondent aux diamètres moyens et dominants du peuplement et aux pourcentages de couvert de la strate arbustive et des gaules.
Au contraire, les descripteurs pour lesquels les sites sont homogènes sont : la pente, l'altitude, la surface terrière, le couvert par les fourrés, la hauteur du taillis, la hauteur dominante ou encore le nombre de couloirs d'accès potentiels au nid.

3.1.4. Le micro-habitat : l'arbre porteur du nid

Le micro-habitat constitue l'échelle la plus locale de l'étude. L'arbre porteur de nid est, pour presque 90 % des sites, un chêne (fig. 28) d'une hauteur moyenne de 30,3 ± 0,8 m (tableau 12) et de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) moyen de 79 ± 3,2 cm (tableau 12) ; il s'agit dans la très grande partie des cas d'un TGB et ces arbres sont des exemplaires âgés puisque la majorité aurait plus de 150 ans (fig. 28). Ils présentent ainsi de faibles coefficients de stabilité (fig. 27, tableau 12) ; ce sont donc des arbres stables. Leur état sanitaire est bon à intermédiaire, les notes attribuées pour les trois quarts d'entre eux étant de 2 ou 3 (fig. 28). Quelques fenêtres et branches mortes sont visibles sur ces arbres mais leur intensité est faible. L'état sanitaire de l'arbre porteur de nid n'est pas significativement différent de l'état sanitaire de ses voisins (test exact de Fisher ; p-value > 0,05).

De façon à faire le lien avec le macro-habitat, des tests de comparaison ont été réalisés. L'essence investie pour la nidification est vraisemblablement liée aux essences dominantes et secondaires du peuplement (test exact de Fisher ; p-value > 0,05) ; les chênes sont globalement choisis dans des peuplements où le chêne et majoritaire, il en va de même pour le hêtre.

De plus, la hauteur totale de l'arbre n'est pas significativement différente de celle des deux plus grands arbres de la placette (t-test ; p-value > 0,05). Il n'y a pas non plus de relation évidente entre la hauteur totale de l'arbre choisi et la pente du site (t-test ; p-value > 0,05).

Le houppier de l'arbre est relativement conséquent, avec une longueur moyenne de 19,8 ± 0,7 m (fig. 28), représentant environ 65,4 ± 1,4 % de la hauteur totale de l'arbre (fig. 28).

Néanmoins, en ce qui concerne les diamètres, le diamètre de l'arbre porteur de nid et le diamètre moyen des arbres de son environnement sont significativement différents ; le diamètre de l'arbre porteur de nid est supérieur d'une moyenne de 35,1 cm par rapport au diamètre moyen du peuplement environnant (t-test ; p-value = 1,393e-12). De même, le diamètre de l'arbre porteur de nid est significativement supérieur au diamètre dominant du peuplement environnant (t-test ; p-value = 7,441e-11). Cette différence est d'environ 29,8 cm.

De plus, la hauteur du nid dans l'arbre semble concorder avec la hauteur de la première branche vivante du houppier (fig. 27). Visiblement, si la première branche du houppier n'est pas choisie pour la construction du nid, il s'agit en général des quelques suivantes ; c'est ce qui transparaît avec l'descripteur portant sur la position du nid dans l'arbre, montrant des nids à la base du houppier pour plus de la moitié des sites, les autres se trouvant plutôt dans la partie médiane (fig. 28). Toutefois, la hauteur du nid ne serait pas liée au nombre de tiges dans un rayon de 15 m autour de l'arbre porteur (t-test ; p-value > 0,05). Elle ne serait pas non plus dépendante de l'essence de l'arbre porteur (test de Fisher ; p-value > 0,05), néanmoins, ce résultat serait à vérifier avec un échantillon présentant plus de nid dans des pins sylvestres, puisque l'unique site ayant cette particularité montrait une hauteur du nid par rapport au sol correspondant à la seconde plus grande valeur du jeu de données pour l'descripteur.

Selon un plan horizontal par rapport à l'arbre, le nid se trouverait, pour presque 90 % des cas, sur une branche latérale (fig. 28). Cette dernière présenterait, pour plus de la moitié des sites, une fourche, ou bien d'autres éléments conférant une certaine stabilité du nid (fig. 28, a.). Néanmoins, ces structures ne semblent avoir pas d'incidence sur le diamètre du nid (test exact de Fisher ; p-value > 0,05), mais le nombre moyen de jeunes bagués est significativement plus élevé pour des structures stables telles que la fourche ou le gobelet (test exact de Fisher ; p-value = 0,012 74). Toutefois, le diamètre du nid ne serait visiblement pas lié au nombre moyen de jeunes bagués par nichée, ni au nombre d'années d'occupation du site, ou encore à l'âge des adultes nicheurs (test exact de Fisher ; p-value > 0,05).

La stabilité du nid est également conférée par le diamètre de la branche porteuse, relativement important, pouvant assurer le port d'un nid de plus d'un mètre de diamètre pour la majorité des cas (fig. 28). Toutefois, le diamètre de la branche ne semble pas influencer le diamètre du nid (test de Fisher ; p-value > 0,05). De plus, les nids sont toujours proches du tronc, la moitié d'entre eux y sont distants de 0 à 1,8 m (fig. 27), cette position étant bien plus favorable pour la pérennité d'un nid de cette envergure que l'extrémité de la branche. Outre la stabilité du nid, cette faible distance au tronc semble impliquer, pour les arbres investis, une distance entre le nid et l'aplomb du houppier plus élevée. Bien qu'elle soit assez variable, la moitié des nids est distante de l'aplomb du houppier de 4,9 à 9,1 m (fig. 27), cette distance conférant très certainement une protection du nid par rapport aux intempéries et autres conditions météorologiques défavorables à la nichée.

Enfin, l'exposition du nid dans l'arbre semble très variable (fig. 28). Toutes les expositions peuvent être choisies, bien que 45 % des nids soient exposés à la moitié sud (fig. 28). L'exposition des trouées et des couloirs d'arrivées semblent liées entre elles, ce qui est validé par un test de corrélations révélant une relation positive et significative ($r^2 = 0,61$; p-value = 0,0202) (annexe n° 5). Néanmoins, il ne serait pas possible de superposer ces radars avec celui concernant l'exposition du nid (fig. 28). Toutefois, l'exposition sud-est très prononcée des trouées et couloirs d'accès reste favorable à l'accès aux nids, majoritairement orienté au sud (fig. 28). De plus, il n'y a pas de relation entre l'exposition des couloirs d'arrivée connus et l'exposition de la pente dominante des sites (t-test ; p-value > 0,05).

Toujours dans une logique d'accessibilité du site, l'espace au nid ne semble pas manquer puisque que la moitié des sites présente un espace disponible compris entre 1,8 et 4,3 m au-dessus du nid (fig. 27).

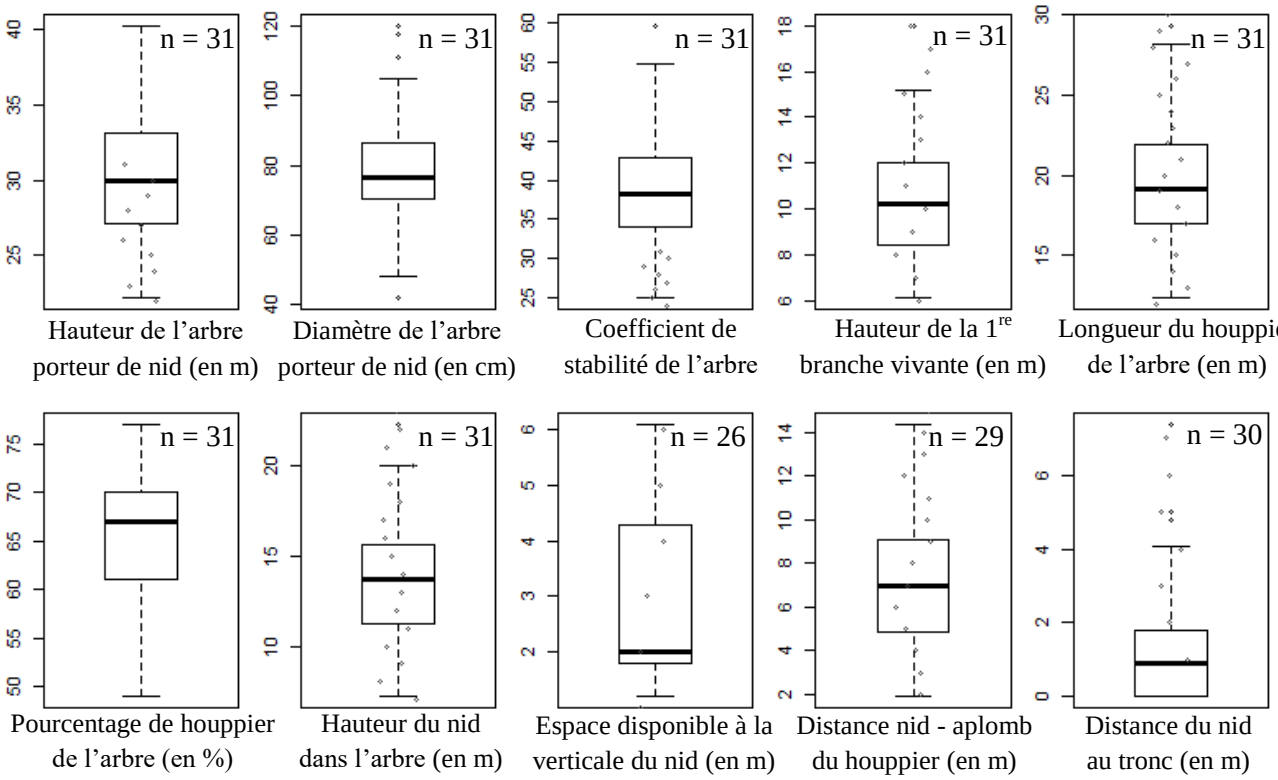


Figure 27 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des valeurs pour chaque variable quantitative étudiée pour le micro-habitat

Tableau 12 : Moyennes et erreurs types associées pour chaque variable quantitative caractérisant le micro-habitat d'un site de nidification de cigogne noire

Variable	Moyenne et erreur type
Hauteur de l'arbre porteur de nid	30,3 ± 0,8 m
Diamètre de l'arbre porteur de nid	79 ± 3,2 cm
Coefficient de stabilité de l'arbre	39,7 ± 1,5
Hauteur de la 1er branche vivante de l'arbre	10,4 ± 0,5 m
Longueur du houppier de l'arbre	19,8 ± 0,7 m
% de houppier de l'arbre	65,4 ± 1,4 %
Hauteur du nid dans l'arbre	13,8 ± 0,6 m
Espace disponible à la verticale du nid	2,9 ± 0,3 m
Distance entre le nid et l'aplomb du houppier	7,1 ± 0,6 m
Distance entre le nid et le tronc	1,5 ± 0,3 m

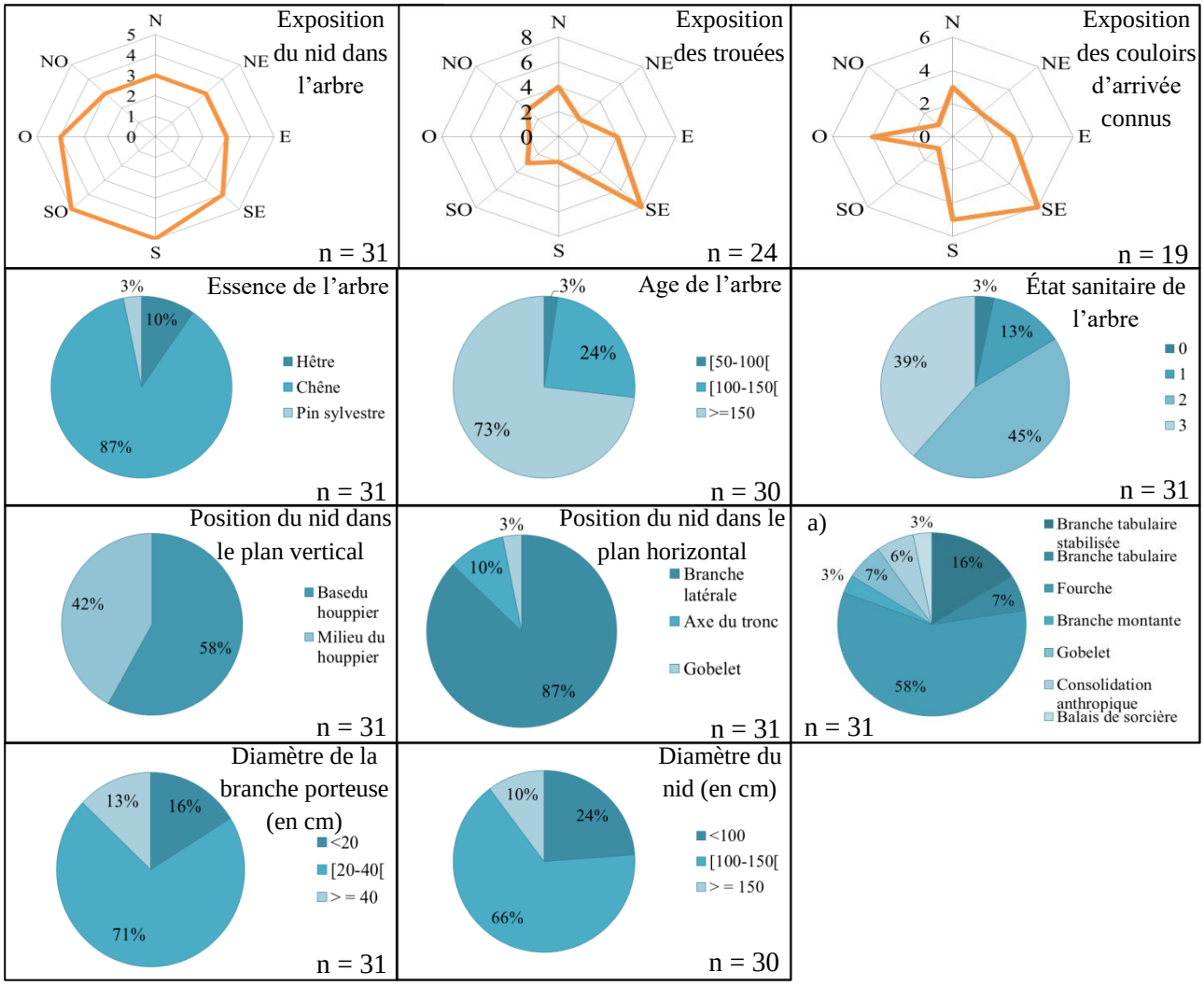


Figure 28 : Représentations graphiques des variables qualitatives caractérisant le micro-habitat des sites de nidification de cigognes noires, a. Particularité d'embranchement à l'emplacement du nid dans l'arbre

L'ACP présentée ci-dessous permet, avec le premier axe, de distinguer les arbres porteurs de nid par la longueur et le pourcentage de leur houppier, leur diamètre et le nombre d'années d'occupation (fig. 29, a.). Le second axe est essentiellement représenté par les variables relatives à la hauteur du nid dans l'arbre, la hauteur totale de l'arbre ainsi que la hauteur de sa première branche vivante (fig. 29, a.). Le coefficient de stabilité, la distance entre le nid et le tronc, la distance entre le nid et l'aplomb du houppier et l'espace disponible au nid sont les variables pour lesquelles les sites présentent le plus d'homogénéité, elles interviendraient donc de façon significative dans le choix du site (fig. 29, a.).

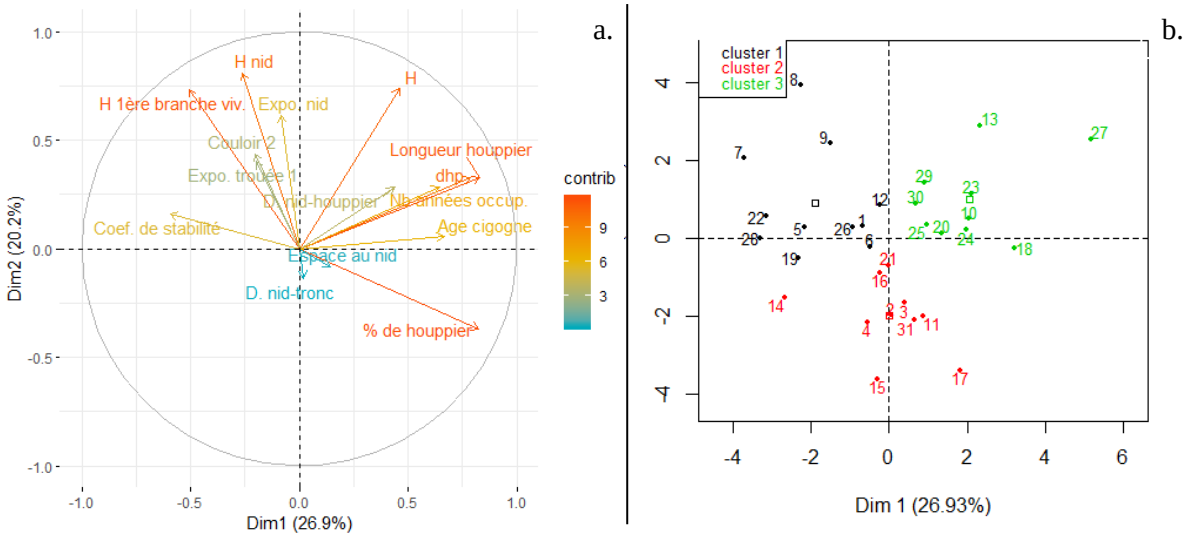


Figure 29 : a. ACP réalisée sur les descripteurs caractérisant le micro-habitat des sites de nidification de cigognes noires. Les variables sont colorées en fonction de leur contribution aux dimensions. b. CAH réalisée suite à l'ACP

Le nuage des sites, bien que centré, est assez étalé ; les sites de nidification étudiés présentent des hétérogénéités dans les caractéristiques à l'échelle du micro-habitat (fig. 29, b.). Parmi l'ensemble des sites étudiés, trois types se distinguent en regard de ces caractéristiques (fig. 29, b.). Le premier groupe, en noir, est caractérisé par des arbres porteur de nid au houppier moins développé que ceux des autres groupes, présentant généralement de plus faibles diamètres, mais dont la hauteur totale de l'arbre porteur, la hauteur de la première branche vivante et la hauteur du nid dans l'arbre sont visiblement plus élevées (fig. 29, b.). Ce sont des sites pour lesquels le nombre d'années d'occupation certaine est plus faible, cet descripteur allant de pair avec l'âge des cigognes nicheuses sur ces sites (fig. 29, b.).

A l'inverse, le second groupe, en vert, représente les sites les plus usités (fig. 29, b.). Ils présentent globalement les mêmes caractéristiques que les sites du premier groupe en termes de hauteur totale de l'arbre ou de hauteur de nid, en revanche, ils concernent des arbres aux houppiers plus conséquents et aux plus grands diamètres (fig. 29, b.).

Enfin, le dernier groupe se distingue des deux autres par sa position sur le graphique avec faibles valeurs pour la seconde dimension (fig. 29, b.). Ce sont des sites dont les arbres sont moins hauts, la première branche vivante du houppier étant plus basse, ainsi que le nid (fig. 29, b.).

De plus, un corrélogramme a été réalisé afin d'analyser de façon plus précise les relations entre les variables (annexe n° 6). Le nombre d'années d'occupation du site est corrélé de façon positive et significative à la longueur du houppier de l'arbre ($r^2 = 0,54$; p-value = 0,0016), le diamètre de l'arbre ($r^2 = 0,49$; p-value = 0,0047), la hauteur de l'arbre porteur ($r^2 = 0,45$; p-value = 0,0118), la distance entre le nid et l'aplomb du houppier ($r^2 = 0, 43$; p-value = 0,0157) et, dans une moindre mesure, à l'espace disponible au nid ($r^2 = 0,36$; p-value = 0,0476) (annexe n° 6).

En résumé :

L'analyse du micro-habitat révèle que l'essence de l'arbre porteur de nid correspond à l'essence majoritaire du peuplement ; ici, il s'agit très souvent d'un chêne. La hauteur totale moyenne de 30 m n'est pas nécessairement différente des autres plus grands arbres de son environnement et n'est pas influencée par le contexte topographique du site.

Les arbres investis sont des TGB d'environ 79 cm de diamètre, un diamètre considérablement supérieur au diamètre moyen du peuplement environnant, ou même au diamètre dominant. Ces

arbres sont très stables et présentent un houppier conséquent d'une longueur moyenne de près de 20 m. L'état sanitaire des arbres choisis est relativement homogène, bon à intermédiaire.

Le nid se situe globalement à la base du houppier, à une hauteur moyenne de 14 m du sol. Cette hauteur n'est visiblement pas liée au nombre de tiges aux abords du nid, ni à l'essence de l'arbre porteur. Il est distant du tronc à un maximum de 2 m, et éloigné d'environ 7 m de l'aplomb du houppier de l'arbre. De plus, l'espace disponible moyen au nid en hauteur est d'environ 3 m.

Les branches latérales présentant une fourche sont des emplacements optimaux, le nombre de jeunes bagués issus de nids positionnés sur ces structures étant significativement plus élevé. Néanmoins, ces structures n'influencent pas le diamètre du nid, ce dernier n'étant visiblement pas non plus lié au nombre de jeunes, au nombre d'années d'occupation du site et à l'âge des adultes nicheurs. Il n'est pas non plus lié au diamètre de la branche porteuse, pourtant important.

L'exposition du nid est très variable, mais toutefois cohérente avec les couloirs d'arrivées connus. Eux-mêmes sont très liés aux trouées présentes sur le site. Il n'y a toutefois pas de relation entre l'exposition des couloirs connus et l'exposition de la pente dominante.

Le coefficient de stabilité, la distance entre le nid et le tronc, la distance entre le nid et l'aplomb du houppier et l'espace disponible au nid correspondent aux descripteurs pour lesquels les sites sont homogènes.

A l'inverse, les sites se distinguent entre eux d'une part par les caractéristiques des houppiers des arbres porteurs et de leur diamètre, d'autre part par la hauteur du nid, la hauteur totale de l'arbre ainsi que la hauteur de la première branche vivante.

Les sites occupés le plus de fois correspondent aux sites dont les arbres porteurs présentent les plus grands houppiers, les plus grands diamètres, les plus grandes hauteurs, les plus grandes distances entre le nid et l'aplomb du houppier, et enfin les plus grands espaces au nid.

3.1.5. Confrontation des données du macro-habitat avec des peuplements ne présentant pas de nid de cigogne noire

Les sites de nidification ont été caractérisés en mettant en évidence les facteurs orientant *a priori* le plus le choix du site. Dans cette partie, il s'agit de réaliser des comparaisons entre les données concernant les peuplements des sites étudiés et des données de peuplements à une échelle bien plus vaste, ne portant pas sur les sites de nidification de cigognes noires. L'idée est de rendre compte de l'originalité, ou non, des sites de nidification de cigognes noires par rapport à des peuplements ne présentant pas forcément de nids, constituant donc des « témoins ».

Il a ainsi été décidé de choisir la base de données de l'IFN comme référentiel des comparaisons, une base de données en libre accès et permettant de prendre en compte les différents secteurs géographiques étudiés pour la caractérisation des sites de nidification. D'autres données étaient disponibles, en particulier celles issues des placettes permanentes du secteur haut-marnais, néanmoins la zone géographique ne semblait finalement pas adaptée pour réaliser des comparaisons avec des données issues de 12 départements.

Les variables communes aux deux inventaires, pour lesquelles il était possible de réaliser les comparaisons, sont les suivantes :

- la surface terrière,
- le nombre de tiges à l'hectare,
- le nombre de tiges de bois mort sur pied à l'hectare,

- le pourcentage de PB,
- le pourcentage de BM,
- le pourcentage de GB et,
- le pourcentage de TGB.

Les comparaisons portent sur les moyennes de ces 7 descripteurs pour les 31 sites de nidification étudiés et les moyennes de ces 7 descripteurs issus de l'IFN, à l'échelle nationale. Ce choix d'échelle est en cohérence avec la diversité des régions et départements prospectés par l'étude. Les tests réalisés sont des tests de comparaison à une moyenne théorique, cette moyenne étant représentée par les données de l'IFN. Pour les variables suivant une loi normale, un t-test est réalisé, pour les autres, un test de Wilcoxon est effectué. Les résultats des tests de comparaison sont donnés par le tableau ci-dessous (tableau 13).

Tableau 13 : Tableau résumant les tests de comparaisons de moyennes effectués pour différentes variables entre les sites de nidification de cigognes noires et les données issues de l'IFN à l'échelle nationale, source : IGN, 2018. Le signe « ✓ » indique que la p-value calculée est inférieure à 0,05, donc une différence significative.

Descripteur	Significativité de la différence	Signe de la différence
Surface terrière	✗	$Sites_{cigognes\ noires} > Parcelles_{IFN}$
Nombre de tiges / ha	✓	$Sites_{cigognes\ noires} < Parcelles_{IFN}$
Nb de tiges de bois mort / ha	✓	$Sites_{cigognes\ noires} < Parcelles_{IFN}$
% en PB	✓	$Sites_{cigognes\ noires} < Parcelles_{IFN}$
% en BM	✓	$Sites_{cigognes\ noires} > Parcelles_{IFN}$
% en GB	✓	$Sites_{cigognes\ noires} > Parcelles_{IFN}$
% en TGB	✓	$Sites_{cigognes\ noires} > Parcelles_{IFN}$

Les sites de nidification présentent globalement des peuplements plutôt riches lorsque l'on s'intéresse à la surface terrière. La p-value obtenue par le t.test de 0,05969, légèrement supérieure au seuil de significativité $\alpha = 0,05$, ne permet pas de conclure à une différence marquée pour cet descripteur avec les peuplements « témoins » à l'échelle du territoire français. Les peuplements investis pour la nidification présenteraient néanmoins des surfaces terrières supérieures à la moyenne nationale. Toutefois, le nombre de tiges par hectare est significativement plus faible pour les placettes présentant des nids (tableau 13). Le nombre de bois morts sur pied serait inférieur à la moyenne issue de la base de données de l'IFN, néanmoins, l'étude du macro-habitat a conclu que cet descripteur n'était certainement pas décisif dans le choix du site (tableau 13). Les sites de nidification seraient globalement moins riches en petits bois, au contraire, ils sont plus riches en bois moyens, gros bois et très gros bois (tableau 13).

Ces caractéristiques confèrent aux sites choisis des possibilités pour l'accès au nid et le vol sous les houppiers dans l'environnement local. En effet, les surfaces terrières élevées ne semblent pas représenter une contrainte pour l'oiseau ; elles sont expliquées par une forte proportion en gros bois qui, de façon hypothétique, prennent moins de place que les petits bois en termes de houppier. Ces conditions rendent ainsi le site accessible pour l'oiseau, ce qui est appuyé par de faibles densités de tiges par hectare.

3.2. Image de sélection du site de nidification

Il semble, d'après les analyses précédentes, que plus de facteurs du macro-habitat soient décisifs dans l'occupation d'un site par un couple nicheur. Est-ce pour autant à cette échelle que l'image de recherche du site de nidification par la cigogne noire opère ? Par ailleurs, il y a davantage d'descripteurs pour l'étude de cette échelle que pour les autres, ce qui pourrait fausser cette interprétation.

Une AFM est réalisée pour essayer de répondre à cette question. Il s'agit d'une méthode adaptée pour gérer des jeux de données complexes, en l'occurrence ici, les variables caractérisant l'échelle du paysage, du macro-habitat et du micro-habitat. Elle se substitue à l'ACP lorsque le jeu de données est structuré en groupes de variables.

Le jeu de données est alors divisé en 6 groupes ; pour chacune des trois échelles décrites précédemment, un groupe représente les variables qualitatives, et l'autre les variables quantitatives (fig. 30). En effet, les deux types de variables doivent être séparés dans l'analyse. De plus, les variables intégrées à l'analyse ne correspondent qu'aux descripteurs révélés comme étant déterminants dans le choix des sites. L'intérêt de la méthode est de pouvoir comparer les différents groupes constitués et de mettre en évidence les groupes, soit les échelles, les plus discriminants ou les plus homogènes pour éventuellement déterminer l'échelle à laquelle la sélection du site opère. Il s'agit du même raisonnement que pour l'analyse des descripteurs étudiés ; ceux qui discriminent le moins les sites sont donc ceux présentant une plus grande homogénéité, ces descripteurs interviennent donc peut-être de façon prioritaire dans la sélection du site.

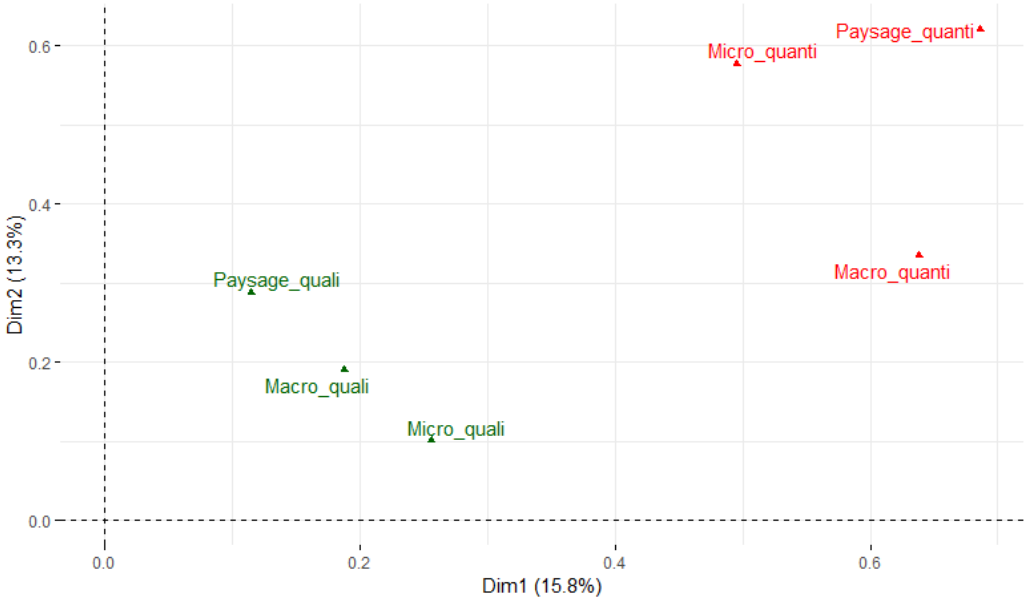


Figure 30 : AFM réalisée sur les différents groupes de variables pour les trois échelles d'habitat étudiées. Les variables en vert correspondent aux variables qualitatives, les variables en rouge correspondent aux variables quantitatives

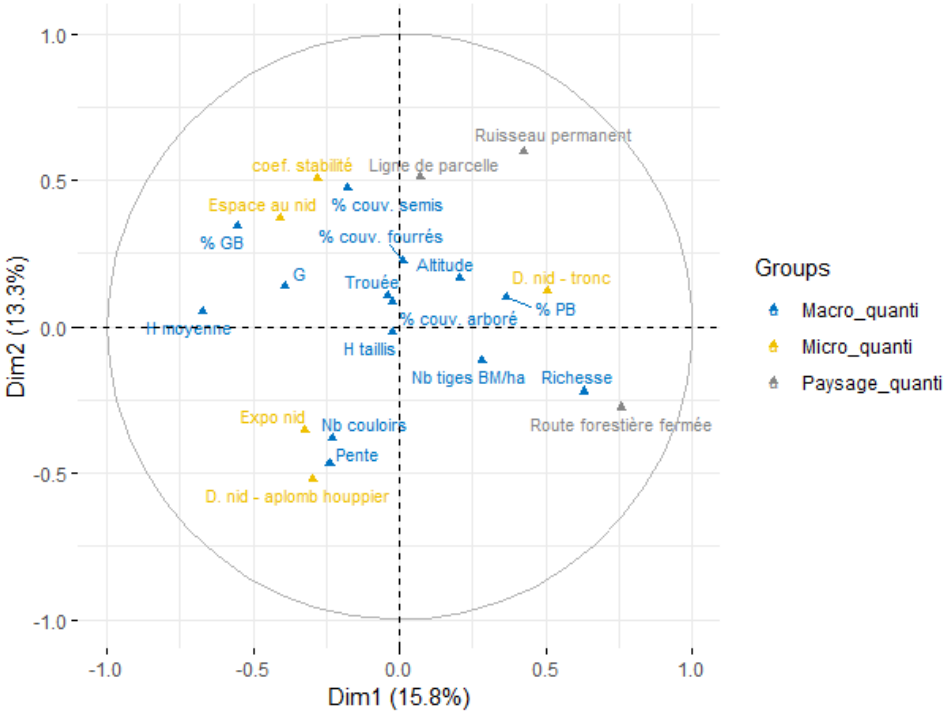


Figure 31 : Cercle des corrélations correspondant à l'AFM réalisée pour les différentes échelles d'habitat étudiées

L'analyse précédente semble indiquer que les sites étudiés ont des caractéristiques relativement homogènes pour les variables qualitatives ; en effet, ces variables sont très proches du centre du graphique par rapport aux variables quantitatives (fig. 30*)*. Lorsque l'on s'intéresse aux variables quantitatives, les descripteurs déterminants à l'échelle du paysage seraient les plus discriminants (fig. 30). Ce constat semble validé par le cercle des corrélations : ces variables sont les plus à l'extérieur du cercle et expliquent donc le plus la variabilité entre les sites (fig. 31). Au contraire, un certain nombre de variables caractérisant le macro-habitat se trouvent au centre du cercle, les sites étudiés seraient donc plus homogènes du point de vue de ces variables (fig. 31). Les variables portant sur le micro-habitat se trouvent relativement entre les deux groupes (fig. 31).

Il est toutefois difficile de conclure sur l'échelle correspondant à l'image de recherche de la cigogne noire. En effet, bien que le cercle des corrélations détaille et quantifie la significativité des descripteurs dans l'explication de la variabilité observée au sein de l'échantillon, l'effet individuel des variables n'est pas toujours le même pour un groupe donné et rend ainsi difficile la conclusion sur l'échelle de sélection (fig. 31). De plus, le pourcentage d'inertie exprimée par les axes est faible : seulement 29,1 % de l'inertie totale est exprimée par l'analyse, ce qui rend difficile de valider les conclusions qui seront issues de l'analyse (fig. 30). Des hypothèses seront néanmoins émises et explicitées.

3.3. Apport de la technologie du LIDAR terrestre

Un relevé LIDAR terrestre a été réalisé en amont du stage pour un site de nidification dans le secteur haut-marnais. Le site en question a été étudié par les analyses précédentes. L'idée est d'évaluer le potentiel de cette technologie sur l'étude des sites de nidification des cigognes noires, qui pourrait éventuellement mener à des partenariats sur le sujet, le LIDAR étant déjà appliqué à des études dans le domaine de l'écologie portant notamment sur les chiroptères.

3.3.1. Comparaison avec les relevés « à la main »

La technologie LIDAR terrestre est capable de retranscrire le site étudié en 3D à l'aide d'un nuage de données constitué de millions de points. Compte-tenu des descripteurs étudiés précédemment, l'apport de la technologie par rapport aux relevés « à la main » est évalué par le tableau ci-dessous (tableau 14.).

Tableau 14 : Évaluation du potentiel du LIDAR terrestre en regard des différents descripteurs relevés "à la main" sur le terrain

Type d'descripteur	Évaluable par le LIDAR	Commentaire
Mesure des diamètres	✓	Moins rapide qu' « à la main ». En projet de fonctionnalité.
Distance des arbres au centre de la placette	✓	En projet de fonctionnalité.
Descripteurs liés à la reconnaissance des essences	-	Limité. Possible dans le cas où toutes les essences présentes sur la placette sont connues
Descripteurs portant sur la topographie du site	✓	Plus précis que les relevés « à la main ».
Traitement sylvicole	✗	Comme pour les relevés « à la main », il faut voir avec les experts forestiers du triage concerné.

Descripteurs liés aux hauteurs des arbres	-	Limité. Certaines hauteurs peuvent être sous-estimées (arbres dominants).
Descripteurs liés au couvert végétal (strates arborées et arbustives)	✓	
Descripteurs liés au couvert des strates liés à la régénération (semis, fourrés, gaulis)	-	Limité. Il pourrait être difficile de faire la différence entre un couvert dense de semis et des ronces par exemple.
Détection des brins / perches	-	Certaines tiges de petits diamètres peuvent ne pas être détectées.
État sanitaire	✗	Travailler éventuellement sur un descripteur de surface foliaire.
Bois mort	✓	Oui, à condition de travailler sur des scans réalisés l'été.
Matériaux disponibles au sol	-	Même remarque pour que les semis.
Disponibilité en bryophytes	-	Il faudrait éventuellement travailler sur des scans en couleur et définir une couleur verte pour laquelle on compte la mousse.
Descripteurs paysagers	✗	Comme pour les relevés « à la main », à réaliser par l'intermédiaire d'outils cartographiques après le terrain.
Hauteur du nid, hauteur de la première branche vivante du houppier	✓	En projet de fonctionnalité.
Age de l'arbre porteur	✗	
Diamètre de la branche porteuse de nid, diamètre du nid, distance entre le nid et le tronc, distance entre le nid et l'aplomb du houppier	✓	
Descripteurs qualitatifs sur la position du nid dans l'arbre ainsi que les particularités de l'arbre / branche porteuse	✓	Visuel.
Espace au nid	✓	En projet de fonctionnalité.
Expositions / azimuts	✓	
Corridors d'accès au nid	-	En projet de fonctionnalité.

Les deux principales limites rencontrées avec la technologie du LIDAR terrestre sont liées à l'évaluation d'descripteurs impliquant la reconnaissance des essences ou de certains éléments du paysage, bien qu'une typologie puisse être réalisée en amont pour guider la reconnaissance, ainsi qu'au calcul de certaines hauteurs (tableau 14). En effet, le LIDAR terrestre détecte moins bien les apex que le LIDAR aérien, les deux techniques, bien que très proches en termes de technique et de technologie, ont des approches très différentes de la scène étudiée. Néanmoins le LIDAR aérien détectera beaucoup moins bien l'apex des arbres dominés, contrairement au LIDAR terrestre. En cela les deux techniques se complètent et constitueraient deux approches très intéressantes pour l'étude d'un site de nidification en milieu fermé.

Toutefois, un relevé LIDAR terrestre permet déjà de collecter un maximum d'descripteurs parmi ceux étudiés précédemment. Le potentiel de la technologie est avéré pour les paramètres portant sur l'arbre porteur de nid, et les limites de la technologie exprimées pour certains descripteurs ne sont visiblement que temporaires. En effet, le logiciel de traitement des données issues des relevés LIDAR, Computree®, est en cours de développement et présentera à terme des outils plus fonctionnels pour, par exemple, pouvoir réaliser des mesures directes de distances entre deux points. De plus, un potentiel non négligeable est à développer et exploiter pour préciser et quantifier certains descripteurs ; il s'agit en particulier des descripteurs portant sur les couloirs d'accès au site.

3.3.2. Modélisation des potentialités d'accès au nid

Dans un premier temps, un essai sur la caractérisation de l'espace disponible aux abords du nid pour l'accès des oiseaux a été réalisé. Pour cela, cet espace est modélisé par une sphère de meilleure convenance d'accès autour du nid (fig. 31). Cette sphère est constituée de voxels, des pixels en 3D, définis à partir du moment où une cigogne d'envergure 1,8 m peut passer. Une catégorie est ensuite attribuée à ces voxels selon un gradient de couleurs allant du bleu au rouge, les espaces les plus favorables pour l'accès au nid étant colorés en bleu (fig. 31). Bien que la couleur rouge caractérise les espaces les plus étroits aux abords du nid, ils sont seulement très proches de la limite basse fixée à 1,8 m et permettent tout de même le passage d'une cigogne noire adulte. Cette modélisation semble pertinente, puisqu'elle est effectivement en cohérence avec les observations sur le terrain.

La modélisation réalisée indique ainsi par où la cigogne noire a le plus de chances de passer pour accéder au nid, elle constitue en cela un premier pas vers la modélisation des couloirs d'arrivée empruntés. Pour les modéliser de façon plus complète, il sera possible de travailler à l'échelle du scan entier, au-delà de la sphère délimitée, mais ce travail sera beaucoup plus lourd en calculs pour le logiciel. Pour se faire, il est envisagé de prendre en compte les trouées mises en évidence par le scan comme point de départ d'un couloir, puis de calculer les couloirs les plus efficaces pour arriver au nid. Toutefois, cette méthode suppose que la trouée empruntée par les cigognes noires pour passer sous le couvert se trouve dans un rayon de 40 m autour de l'arbre, correspondant à l'emprise des relevés réalisés, ce qui n'est pas toujours vérifié.

Le potentiel exprimé par la technologie du LIDAR terrestre est tout à fait encourageant pour le travail sur des sujets d'études portés sur l'écologie tels que les sites de nidification de cigognes noires. Il serait tout à fait possible d'envisager de remplacer des relevés de terrain « à la main » par des relevés de type LIDAR terrestre lorsque les outils de traitement de données seront plus aboutis. Il est également possible d'affirmer que cette technologie permettra d'apporter des données qu'il n'est pas possible de collecter sur le terrain « à la main ». En particulier, la modélisation des couloirs d'arrivée paraît tout à fait envisageable, elle permettra de préciser l'éthologie de la cigogne noire, et ainsi préciser davantage les conditions de peuplements favorables à son accès et donc les conditions influençant sa recherche d'un site de nidification.

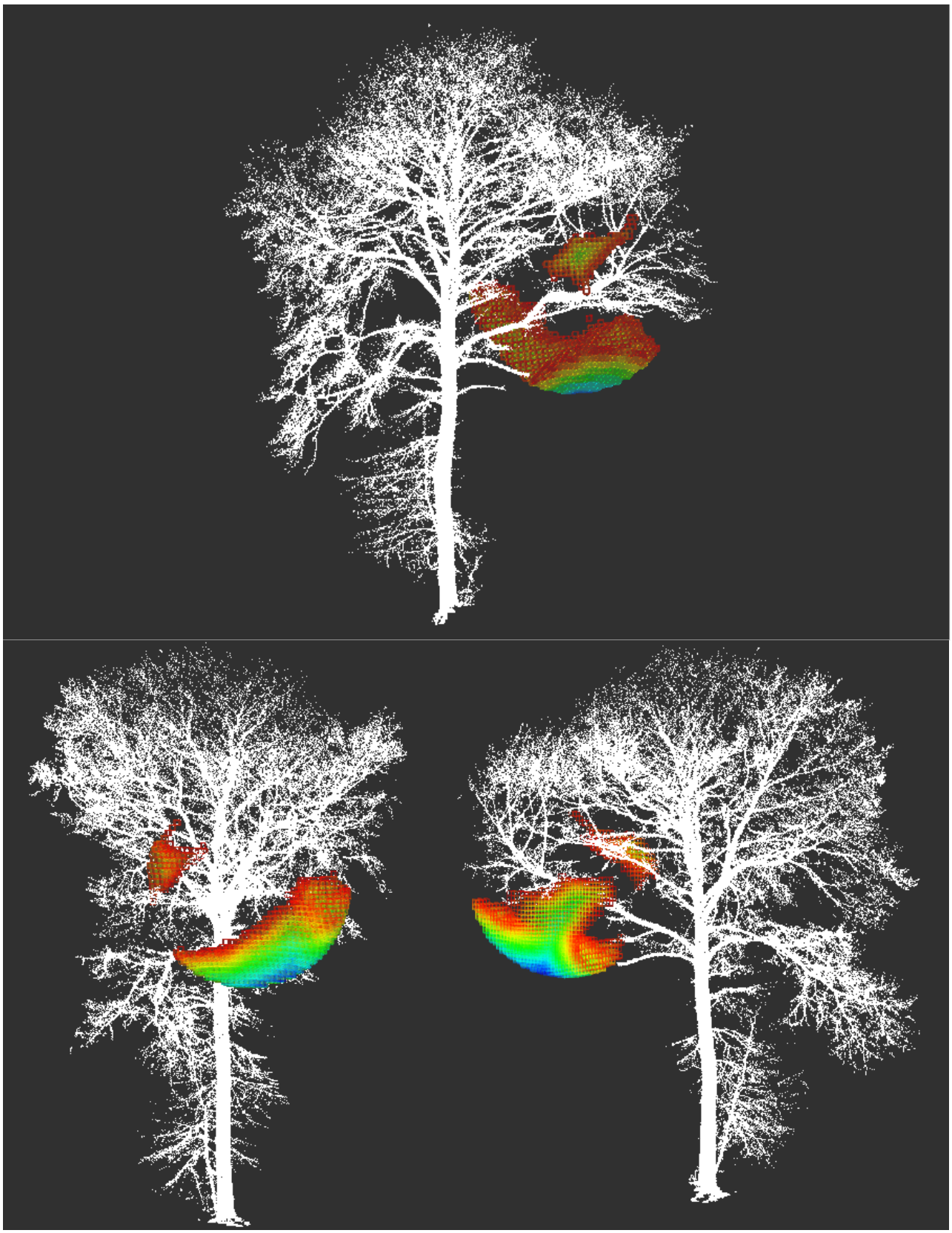


Figure 32 : Modélisation des accès potentiels au nid par les cigognes noires sous différents points de vue, logiciel Computree®

4. Discussion

4.1. Les résultats de la caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire

4.1.1. L'effet d'expérience des couples nicheurs

L'analyse de l'historique des sites investis met en évidence un effet d'expérience des adultes nicheurs : les cigognes noires plus âgées occuperaient les sites plus longtemps et de façon continue, elles produiraient également plus de jeunes, bagués, que des individus plus jeunes. Il est alors possible de supposer que l'expérience du couple nicheur, acquise par l'âge, mène les individus à réaliser de meilleurs choix de sites adaptés pour la reproduction. En effet, il est ici supposé que des sites occupés plus de fois et sur lesquels plus de jeunes sont bagués sont plus favorables que des sites présentant de plus faibles valeurs pour ces descripteurs. Cette hypothèse pourra éventuellement être validée par une analyse de l'évolution de ces trois paramètres – âge, nombre d'années d'occupation et nombre de jeunes bagués – après un changement de site. La cause du changement de site, si elle peut être connue, constituera également un élément fort pour l'interprétation de ces résultats ; un cas de prédation, ou bien de dérangement de nature anthropique, n'auront certainement pas le même impact pour le choix d'un nouveau site, qu'une branche porteuse du nid s'écroulant. En particulier, des sites occupés peu de fois et présentant moins de jeunes bagués du fait d'un cas de prédation ne seront pas pour autant toujours de sites présentant un habitat défavorable à la nidification de la cigogne noire.

4.1.2. Des sites de nidification isolés des activités humaines mais étroitement liés aux zones de gagnage

D'un point de vue paysager, les sites de nidification de cigognes noires semblent montrer un gradient d'éloignement croissant avec la fréquentation des routes étudiées. Visiblement, l'intensité de fréquentation des axes jouerait sur l'installation d'un nid de cigogne noire.

Les distances entre les sites et les circuits de randonnée ou les habitations sont très variables, les valeurs minimales, de quelques centaines de mètres, s'expliquent vraisemblablement par la localisation des sites en milieux ruraux. En effet, ces espaces présentent de faibles densités de population dans les villages les plus proches des nids ; le nombre d'habitant dans les villages les plus proches, de généralement moins de 100 habitants, témoigne d'une relativement faible pression anthropique sur les milieux investis. Le potentiel en termes de fréquentation des sentiers n'est donc pas important, et encore moins constant.

Un éventuel effet de compétition pouvant être exercé par la présence d'un second nid occupé de façon simultanée n'est pas avéré, les distances étant très variables et n'influençant visiblement pas le nombre de jeunes. Ce résultat serait à préciser avec les densités de couples présents sur le secteur.

Les lignes de parcelles et les cloisonnements constituent très certainement des zones d'accès potentielles pour l'oiseau ; les nids en bordure de ces entités sont nombreux et seraient occupés plus de fois. En effet, les nids proches des lignes de parcelles sont des nids facilement repérables par les forestiers et ainsi rapidement pris en compte dans les itinéraires sylvicoles, mais ce sont également des nids plus vulnérables au dérangement, par des randonneurs par exemple. Néanmoins, ils sont garantis d'une protection en regard des travaux sylvicoles dans un rayon correspondant à deux fois la hauteur du peuplement (Brossault, 2016). De ce point de vue, l'environnement de ces nids est donc censé ne pas être perturbé. L'emplacement du nid en bordure de ligne de parcelle peut alors conférer au site des conditions d'accès de choix en étant assuré d'une certaine quiétude, en excluant les dérangements ponctuels par des randonneurs, ce qui peut encourager l'oiseau à nicher de nouveau sur le même site.

Les entités plutôt attractives pour les cigognes noires telles que les petits ruisseaux et étendues d'eau stagnantes se situent à moins de 1 km des sites pour la majorité d'entre eux. Ces faibles distances impliquent, si ces zones sont effectivement utilisées pour l'alimentation des oiseaux, une réduction des coûts énergétiques lors de la période de nourrissage des jeunes. La distance du site à la lisière forestière suivrait ces

valeurs et donc cette même logique. De plus, cette dernière est relativement faible par rapport à la taille des massifs investis, ce qui semble appuyer cette hypothèse de réduction des coûts énergétiques.

Les facteurs discriminant le plus les sites, c'est-à-dire, la distance à la lisière forestière, à l'habitation la plus proche, à la route très fréquentée la plus proche, à la route ouverte peu fréquentée la plus proche, à l'étendue d'eau stagnante la plus proche, au circuit de randonnée le plus proche, au nid occupé simultanément le plus proche, et la surface du massif ne sont vraisemblablement pas les facteurs décisifs dans la sélection du site de nidification. En effet, s'ils sont si variables, c'est que la priorité est mise autre part.

Dès lors, les facteurs qui semblent unir le plus les sites de nidification de cigognes noires à l'échelle du paysage sont la distance au ruisseau le plus proche ; à une échelle plus locale, la proximité aux lignes de parcelles et cloisonnements semble être favorable à l'accès des sites. Ces deux facteurs sont liés à différentes fonctionnalités de l'aire de reproduction d'un oiseau : une proximité aux ressources trophiques et une accessibilité du site au sein d'un milieu fermé.

4.1.3. L'étude du macro-habitat : un peuplement apte à la dissimulation et à l'accessibilité du nid

L'analyse du macro-habitat permet de conclure que les sites de nidification de cigognes noires se situent majoritairement en contexte de plateau ou bien en haut de versant, ce sont donc des sites surélevés par rapport à la topographie environnante, bien qu'ils ne soient pas forcément escarpés ; les descripteurs liés à la topographie semblent décisifs dans le choix du site.

Le couvert arbustif est plutôt faible (36 %), contrairement au couvert arboré (75 %). Si les strates inférieures des sites ne sont pas saturées, elles laissent toutefois la possibilité de la dissimulation du nid vu du sol. En outre, les sites le plus de fois occupés présentent les plus hauts couvert par ces strates, cet aspect semblant déterminant dans le choix du site.

Les surfaces terrières sont assez élevées mais permettent visiblement l'accès et la mobilité de ces oiseaux de grande envergure dans les environs du nid. Peut-être ces peuplements aux alentours du nid, plutôt fermés, ne sont pas incompatibles avec le vol de ces oiseaux, mais surtout ils peuvent renforcer la dissimulation du nid. Ces surfaces terrières seraient essentiellement expliquées par une proportion importante en gros bois (40 %, dont TGB), ces gros arbres prenant peut-être moins de place, sous les houppiers, que les petits bois. Les possibilités d'accès sont également fournies par des trouées permettant l'accès, presque direct, au nid. Les sites les plus occupés sont également ceux pour lesquels les possibilités d'accès sont optimales. Ces facteurs semblent déterminants dans le choix du site.

Bien que les bois morts debout constituent un perchoir et un couloir d'accès pour l'oiseau, les sites ne se caractérisent pas par leur présence dans l'environnement proche du nid. Le nombre de bois morts au m² ne semble donc pas être un descripteur décisif dans le choix du site, de même que les descripteurs portant sur la disponibilité en ressources potentiellement constitutives du nid. Toutefois, les sites offrent généralement tous les ressources nécessaires à l'élaboration d'un nid.

Ainsi, les facteurs influençant la sélection du site de nidification chez la cigogne noire renvoient essentiellement à l'accessibilité du site, mais également à la dissimulation du nid, très certainement au regard des prédateurs terrestres tels que les martres.

4.1.4. L'étude du micro-habitat : le maintien et la protection du nid

L'analyse du micro-habitat révèle que l'essence de l'arbre porteur de nid, sa hauteur totale, son diamètre, sa longueur de houppier, la hauteur du nid, la distance entre le nid est l'aplomb du houppier et

l'espace disponible au nid sont les caractéristiques pour lesquelles les sites présentent le plus d'hétérogénéité. Ils interviendraient donc de façon moins prioritaire dans le choix du site.

Néanmoins, les sites occupés le plus de fois correspondent aux sites dont les arbres porteurs présentent, pour les critères précédents, les plus grandes valeurs. Ces caractéristiques renvoient à des critères de maintien et de protection du nid, mais ne correspondent pas aux facteurs prioritaires dans la sélection de l'emplacement du nid de par leur grande variabilité.

En revanche, les arbres porteur du nid sont très stables et présentent un état sanitaire bon à intermédiaire. Le nid se situe globalement à la base du houppier, distant du tronc à un maximum de 2 m, et est protégé, de cette façon, par le large houppier de l'arbre choisi. De plus, l'espace au nid est suffisant pour l'accès et les entraînements des jeunes au vol, une cigogne noire mesurant généralement moins d'un mètre de haut (LPO, 2018).

Les branches latérales présentant une fourche sont des emplacements optimaux, le nombre de jeunes bagués issus de nids positionnés sur ces structures étant significativement plus élevé. Dans tous les cas, le diamètre de la branche porteuse est supérieur à 20 cm et semble ainsi pouvoir assurer un maintien efficace du nid.

Ces descripteurs correspondent aux facteurs intervenant de façon significative dans la sélection des sites de nidification de par leur homogénéité avérée. Ils renvoient à des caractéristiques assurant le maintien d'un nid de diamètre et de poids non négligeable ainsi que sa protection, en particulier des mauvaises conditions météorologiques.

4.1.5. Comparaison à l'échelle nationale : des sites originaux

Les sites investis pour la nidification de la cigogne noire sont des peuplements originaux, présentant en particulier de faibles densités de tiges par hectare favorables à l'accès du site à un oiseau de grande envergure. La richesse de ces sites en gros bois est également validée. Toutefois, l'échelle du peuplement correspond-elle à l'échelle la plus sollicitée dans le choix du site ?

4.1.6. Une combinaison de trois échelles intervenant dans le processus de sélection du site de nidification

Si les descripteurs portant sur les caractéristiques paysagères aux abords des sites de nidification présentent le plus de variabilité, c'est que la priorité n'est pas centrée sur cette échelle. Cela peut tout simplement vouloir dire qu'une cigogne noire en vol va rapidement évaluer le potentiel en aires de gagnage d'une zone, et ensuite prospecter non loin de ces espaces à la recherche du site de nidification précis. Ce résultat pourrait également être lié à une expérience de la cigogne noire sur le paysage considéré : si celle-ci connaît déjà le potentiel de l'espace, il lui est presque déjà possible de prospecter à une échelle bien plus réduite. A l'inverse, si les descripteurs caractérisant le macro-habitat des sites étudiés expriment moins de variabilité, et donc plus d'homogénéité, il serait donc possible que la recherche du site soit guidée par des critères plus sélectif, mais non pas nécessairement précis, à l'échelle du peuplement dans l'environnement proche du nid. Ce serait l'échelle pour laquelle l'image de recherche du site de nidification fonctionne ; les descripteurs déterminants portant essentiellement sur les possibilités d'accès du site par le peuplement environnant (présence de trouées) ou encore sur la dissimulation du nid par le sous-étage correspondraient aux facteurs immédiats de l'oiseau. Ces deux fonctionnalités des sites impliquent par ailleurs une prospection au-dessus et sous le couvert. Néanmoins, il n'est, pour le moment, pas possible de quantifier ces différents types de prospection en termes de priorité.

4.2 Intérêts et limites de la caractérisation multi-échelle des sites de nidification chez la cigogne noire en milieu forestier

L'étude des sites de nidification chez la cigogne noire a permis d'identifier des facteurs de sélection intervenant de façon significative, aux différentes échelles d'habitat étudiées, dans le choix du site. La caractérisation des sites était donc absolument nécessaire pour discriminer les facteurs entre eux, ainsi que le rôle des différentes échelles intervenant dans la sélection.

Toutefois, il est nécessaire de rappeler que la caractérisation a été réalisée pour des sites non occupés en 2018, afin de ne pas déranger les oiseaux, selon un protocole qui requiert une présence sur le site d'au moins 2 h 30 min : il s'agit d'une contrainte liée à la période de stage. Bien que des précautions aient été prises concernant les sites en prenant un recul maximum de 5 ans pour la dernière occupation des sites en question, certaines variables telles que les matériaux présents au sol, le couvert par les semis, fourrés et gaulis semblent évoluer rapidement sur de courtes périodes temporelles. Il s'agit peut-être de la raison pour laquelle aucune corrélation n'a été révélée entre la hauteur du nid et la hauteur du taillis. C'est pourquoi ce type de protocole est recommandé pour être appliqué, de façon optimale, dès le départ des jeunes du nid. Dans ces conditions, la caractérisation sera fidèle, sans conteste, aux conditions du milieu sélectionné par le couple nicheur. Ces conditions permettraient également d'obtenir un nombre plus élevé de placettes qui aurait très certainement permis de préciser davantage la caractérisation, vers des données plus uniformes – ou plus hétérogènes – des traits des sites de nidification chez la cigogne noire. On ne peut toutefois pas s'attendre avec certitude à ce que plus de sites en forêt privée soient étudiés ; s'ils sont jusqu'à maintenant bien moins connus que les sites en forêt publique, c'est que les efforts de prospection dans ces forêts sont essentiellement dépendants des possibilités d'accès à ces domaines. Il serait donc intéressant d'être en mesure de compléter la base de données des sites de nidification des couples nicheurs qui occupent, très probablement, ces forêts.

De plus, la notion de caractérisation renvoie davantage à un usage, qu'à un choix ou une sélection. Elle a toutefois permis de mettre en exergue les facteurs discriminant le plus les sites, et les facteurs présentant le moins de variabilité entre eux. Pour ces derniers, les sites présentent donc une certaine homogénéité, ce qui a permis de déduire qu'ils interviennent de façon décisive dans le choix du site de nidification.

D'un autre côté, un travail sur la notion de sélection a été réalisé. Cette notion de choix est davantage mise en évidence lorsque des individus ou placettes dits témoins sont mis en place dans le protocole. Cela n'a pas été le cas : le double de placettes aurait été nécessaire, par exemple, en associant à un site de nidification un site témoin, sans nid de cigogne noire, en définissant notamment au préalable si le site témoin devait se trouver au sein du même massif, ou bien au sein de la même sylvoécorégion, par exemple. Au vue de la diversité des secteurs géographiques étudiés et des moyens mis à disposition, ce type de protocole n'était pas envisageable. Néanmoins, la notion de sélection a tout de même été abordée en comparant les données issues des relevés avec les moyennes de certains descripteurs mis en œuvre pour l'IFN. Les comparaisons ont presque toutes mené à des différences significatives entre les deux inventaires, révélant ainsi des sites originaux, et donc très certainement choisis, parmi les peuplements moyens existants.

La caractérisation des sites de nidification a ainsi permis de tester un vaste panel d'descripteurs qui précisent l'éthologie de la cigogne noire sur les sites de nidification. Certains se sont avérés décisifs, d'autres non, l'étude s'inscrivant dans une démarche de recherche, expérimentale. Cette approche n'a visiblement encore jamais été adoptée pour l'espèce, en abordant trois échelles d'habitat. La description des sites de nidification par une placette à surface fixe de rayon 30 m centrée sur l'arbre porteur de nid semble tout à fait adaptée à l'étude du micro-habitat et du macro-habitat. Néanmoins, ces 30 m de rayon ne représentent, pour ainsi dire, rien, dans le vol d'un oiseau tel que la cigogne noire. Si l'on peut se demander de l'intérêt d'augmenter le rayon à 5 ou 10 m, il semble évident qu'un outil offrant la possibilité d'élargir l'angle de vue à l'échelle du kilomètre, tel que le LIDAR aérien, constitue une piste et une perspective tout à fait pertinente pour préciser les caractéristiques des peuplements environnant les sites de nidification.

En effet, outre la création d'un protocole de caractérisation des sites de nidification, l'approche recherche passe également par l'évaluation et l'expérimentation de nouvelles méthodes d'études. Le LIDAR terrestre constitue en cela une perspective intéressante pour l'étude des sites de nidification de cigognes noires. Néanmoins, le LIDAR aérien est une technologie tout aussi pertinente pour une étude impliquant des oiseaux ; elle permettrait de compléter de façon efficace les relevés issus de LIDAR terrestre, mais également d'appréhender une autre précision dans les échelles d'habitat. En effet, le LIDAR aérien permettrait d'aborder de façon précise l'aspect de la canopée des sites investis pour la nidification. Les trouées constituent des éléments très certainement nécessaires pour le passage des cigognes sous le houppier ; peut-être qu'une typologie concernant l'aspect de la canopée, en abordant à la fois sont uniformité et sa continuité, pourrait se révéler concluante pour expliquer un autre aspect de la sélection du site de nidification par l'oiseau en vol.

4.3 Perspectives pour la prospection des sites de nidification et gestion forestière

L'identification de facteurs influençant la sélection des sites de nidification chez la cigogne noire va permettre, dans un premier temps, des prospections plus ciblées. Il s'agit, très certainement, de la conséquence la plus forte liée à l'étude. En effet, même lorsqu'un oiseau est aperçu en vol au-dessus d'un massif, la technique de triangulation, utilisée de façon systématique, ne permet pas toujours de trouver le nid, du moins dans les meilleurs délais. La triangulation permet de délimiter un périmètre au sein duquel le nid est censé se trouver, cette technique se basant sur des mesures d'angles à partir de différentes positions. Pour l'application au cas de cigognes noires observées en vol, les angles sont estimés par la trajectoire de l'oiseau observé, à partir de plusieurs points de vue. Le périmètre résultant peut alors concerner plusieurs parcelles, ce qui est assez précis. Néanmoins, la prospection de plusieurs parcelles à la recherche d'un nid peut se révéler être une tâche complexe, d'autant plus en période de reproduction durant laquelle les houppiers sont feuillés. De plus, une limite de la technique est qu'il est très souvent difficile de déterminer si l'oiseau en vol vient de nourrir les jeunes et retourne pêcher, ou alors s'il s'apprête à rejoindre le nid. Cette difficulté peut retarder de façon considérable la découverte du nid, d'autant plus que les allers-retours sont peu fréquents en période de nourrissage des jeunes, les adultes économisant au maximum les vols. Enfin, suivre la trajectoire d'un oiseau au plumage foncé sur un fond de massif forestier n'est pas une tâche évidente. Ceci accroît encore la complexité de la technique.

Dès lors, l'intérêt d'identifier des facteurs intervenant dans la sélection des sites de nidification est bien de pouvoir évaluer, avec plus de fiabilité au sein du secteur délimité par triangulation, si des secteurs ou bien des parcelles présentent des caractéristiques favorables à l'accueil d'un nid. L'idée est de pouvoir optimiser la technique de la triangulation, et ainsi la phase de prospection. Bien entendu, ce cas concerne uniquement les individus non balisés, ceux étant équipés fournissant directement des données GPS fiables et permettant ainsi de localiser rapidement les sites lorsque les positions se concentrent dans une zone. Ce pool d'individus balisés concerne un total proche d'une quarantaine d'oiseaux, néanmoins, il existe un écart technologique de presque 20 ans entre les premières cigognes noires équipées de balises, et les dernières. Une dizaine de cigognes noires sont équipées de balises dernière génération. Ces dernières permettent d'obtenir de nombreuses informations précises sur les domaines vitaux, avec un pas de temps de quelques minutes dans le relevé des positions. Cela ne représente donc qu'un faible nombre d'individus, la triangulation et la prospection restant donc des techniques toujours d'intérêt pour la découverte de nouveaux sites.

De plus, les précisions apportées concernant la structure ou le capital des peuplements investis pour la nidification de la cigogne noire permettront également, en particulier pour les membres du réseau cigogne noire, de raisonner sur les placettes lors des martelages par exemple. Il sera ainsi éventuellement possible de juger si la placette semble favorable à l'installation d'un couple nicheur ou non. Dès lors, si des adultes sont aperçus dans un secteur lors de la période de reproduction, il sera possible de prospecter en priorité, même

sans l'aide de la triangulation, les parcelles qui ont pu paraître les plus propices à la nidification de la cigogne noire.

Outre un apport non négligeable dans la précision des prospections qui pourront être effectuées suite à une triangulation, les caractéristiques retenues comme étant décisives dans l'installation d'un nid de cigogne noire dans un peuplement forestier pourront éventuellement impliquer quelques conséquences en termes de gestion forestière. Toutefois, l'idée n'est pas d'orienter la gestion de la forêt vers l'obtention de peuplements favorables à la nidification de la cigogne noire.

Une piste possible repose sur les caractéristiques structurales identifiées sur les sites de nidification. Les GB (dont TGB), représentent près de 40 % des placettes étudiées, la quasi-totalité des tiges restantes étant des BM. Les surfaces terrières sont également assez élevées. Parmi les 31 sites étudiés, bien que près de 40 % des placettes investies appartiennent à des groupes d'amélioration, près d'un quart des sites correspondent à des groupes de préparation ou bien de régénération. Ces derniers pourraient ainsi très bien obtenir le caractère d'îlot de vieux bois ; ces îlots se divisent en îlots de vieillissement et îlots de sénescence et correspondent à des peuplements compris entre 0,5 et 5 ha, appartenant généralement au groupe de régénération, et sont composés d'une majorité d'arbres ayant atteint au moins un critère d'exploitabilité (Gamblin et Le Héricy, 2009). La différence majeure entre ces deux catégories repose sur la possibilité de réaliser des interventions sylvicoles ; il est possible d'exploiter des arbres au sein d'un îlot de vieillissement, mais ce n'est pas le cas pour un îlot de sénescence. La mise en place de ces îlots est une démarche s'inscrivant dans le cadre de la conservation de la biodiversité liée aux vieux arbres. Il s'agit d'un engagement de la part de l'ONF (Gamblin et Le Héricy, 2009). Pour chaque aménagement, une réflexion porte sur la mise en place de ces îlots, les proportions pour chaque forêt étant variables en fonction des enjeux existants sur le massif (Gamblin et Le Héricy, 2009).

Sur les 31 sites de nidification étudiés, un site se trouve dans une placette classée îlot de vieillissement, et un autre dans une placette classée îlot de sénescence, soit 6% des sites étudiés. Cette observation n'est pas négligeable et pourrait éventuellement guider l'établissement des îlots de vieux bois lors de la rédaction des aménagements. Les parcelles dans lesquelles se trouvent les sites de nidification connus pourraient être étudiées pour l'obtention de ce classement. En particulier, l'idée serait de préférentiellement choisir la catégorie des îlots de vieillissement ; outre une application de mesures en faveur de la biodiversité qui conduiront, notamment, à la formation d'éventuels perchoirs par les bois morts debout, les interventions sylvicoles qui peuvent être réalisées sur ces îlots permettront d'entretenir l'accessibilité du site, visiblement favorable à ces oiseaux de grande envergure. Néanmoins, les îlots de sénescence ne sont pas pour autant rejetés puisque des nids ont déjà été construits dans ces îlots, mais également au sein de Réserves Biologiques Intégrales (RBI), des espaces totalement rendus à une évolution naturelle. Enfin, il faudra toutefois porter une certaine vigilance, si cette logique est appliquée, à ne pas rendre systématique l'association entre îlot de vieux bois et sites de nidification de cigognes noires. Si ces sites de nidification sont très discrets et tenus à la plus grande confidentialité, il faut veiller à ce que ces îlots de vieux bois qui ne sont pas nécessairement secrets, ne constituent pas une source cible de dérangement anthropique pour les nichées qui pourraient y avoir lieu.

5. Conclusion

La caractérisation de 31 sites de nidification chez la cigogne noire, en étudiant plusieurs échelles d'habitat, a permis à la fois de préciser la diversité des sites investis, mais également d'identifier les facteurs intervenant de façon significative dans la sélection du site. Les sites choisis, d'un point de vue paysager, une échelle qui s'étend de 30 m jusqu'à plusieurs kilomètres aux abords du nid, sont caractérisés par une proximité aux petits ruisseaux. D'un point de vue plus local, les nids sont proches des lignes de parcelle et des cloisonnements. Ces premiers facteurs sont liés à différentes fonctionnalités de l'aire de reproduction d'un oiseau : la proximité aux ressources trophiques et l'accessibilité du site par un oiseau d'une certaine envergure au sein d'un milieu fermé.

L'échelle du macro-habitat, définie par un rayon de 30 m autour de l'arbre porteur de nid et sur laquelle se focalise davantage l'étude, apporte d'autres facteurs décisifs dans le choix du site. Tout d'abord, les sites surplombent généralement le paysage environnant puisque les situations de plateau ou de haut de versant sont presque toujours choisies ; il se peut que ces éléments de la topographie représentent une position stratégique, un repère pour les adultes ou bien une situation facilitant l'envol. Concernant le peuplement, les strates inférieures, taillis et fourrés, participent sans doute, par un couvert modéré, à la dissimulation du nid depuis le sol. Les surfaces terrières calculées plutôt élevées, non nécessairement originales par rapport à la moyenne nationale, ne semblent pas contraindre l'oiseau en termes d'accès mais la présence de trouées constitue des voies au sein des peuplements investis aux abords du nid.

Les facteurs influençant la sélection du site à l'échelle du micro-habitant, portant essentiellement sur l'arbre porteur de nid, sont dans un premier temps liés à la stabilité de l'arbre choisi, présentant un état sanitaire relativement bon. Le nid se situe préférentiellement à la base du houppier, sur une épaisse branche latérale à un maximum de 2 m du tronc, cette position conférant une certaine protection du nid par le large houppier de l'arbre choisi. Ces caractéristiques renvoient à des fonctions de maintien d'un nid conséquent et de sa protection, en particulier par rapport aux intempéries.

L'approche multi-échelle a permis d'émettre des hypothèses sur la hiérarchie intervenant dans le processus de sélection du site. La priorité porterait visiblement sur les caractéristiques du peuplement environnant le nid ; les possibilités d'accès du site et la dissimulation du nid semblent être les critères intervenant de façon majeure dans le choix du site. La technologie LIDAR ouvre des perspectives concrètes dans l'étude, encore plus approfondie, de cette échelle. Toutefois, il est d'ores-et-déjà possible, avec les caractères présentant le plus d'homogénéité pour les sites étudiés, de penser que les prospections seront plus ciblées et qu'il sera même possible d'évaluer le potentiel de certaines parcelles forestières au regard de l'installation de la cigogne noire.

Néanmoins, il faut garder à l'esprit que les 31 sites étudiés ont montré une part non négligeable de variabilité dans les caractéristiques évaluées. Les critères de sélection sont très certainement modulables et adaptés à chaque cas. Le cas forestier n'est d'ailleurs plus le seul habitat de nidification investi : les situations de bocages ou bien de falaises sont de plus en plus observées et témoignent, de façon indiscutable, de la plasticité comportementale de l'espèce quant au choix du site de nidification.

Références bibliographiques

Alexandrou, Olga, Dimitrios E. Bakaloudis, Malamati A. Papakosta, et Christos G. Vlachos. 2016. « Breeding density, spacing of nest-sites and breeding performance of black storks Ciconia nigra in Dadia-Lefkimi-Soufli Forest National Park, north-eastern Greece ». *North-Western Journal of Zoology* 12: 7-13.

Alonso, Juan C., Javier A. Alonso, et Luis M. Carrascal. 1991. « Habitat selection by foraging White Storks, Ciconia ciconia, during the breeding season ». *Can. J. Zool.* 69: 1957-62.

Assandri, Giacomo, Marco Giacomazzo, Mattia Brambilla, Matteo Griggio, et Paolo Pedrini. 2017. « Nest density, nest-site selection, and breeding success of birds in vineyards : Management implications for conservation in a highly intensive farming system ». *Biological Conservation* 205: 23-33.

Augutis, Danas, et Stanislovas Sinkevicius. 2005. « Application of geographic information system (GIS) technologies in identification of potential nesting habitats of Black Storks (Ciconia nigra) ». *Acta Zoologica Lituanica* 15: 3-12.

Baeta, Jean-Frédéric, Julien Présent, Yvon Guenescheau, Pierre Cabard, Louis Sallé, et Renaud Baeta. 2016. « Cigognes noires tourangevines, installation et choix d'un habitat ». *Ornithos : Revue d'ornithologie de terrain*, 2016.

Bakaloudis, Dimitris E., Christos Vlachos, Nikolaos Papageorgiou, et Graham J. Holloway. 2001. « Nest-site habitat selected by Short-toed Eagles Circaetus gallicus in Dadia Forest (northeastern Greece) ». *Ibis* 143 (4): 391-401.

Bastien, Yves. 2002. « Les peuplements forestiers ». ENGREF.

BirdLife International. 2015. « Ciconia nigra -- (Linnaeus, 1758. European Red List Assessment. European Red List of Birds ».

IUCN. 2017. « Ciconia nigra (amended version of 2016 assessment).The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T22697669A111747857 ». 2017. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-1.RLTS.T22697669A111747857.en.

Boukhedim, Amina, Mouslim Bara, Ali Chagra, Meriem Rouaiguia, Wahiba Boudraa, Leila Bouaguel, et Moussa Houhamdi. 2018. « Étude de l'effet du type d'habitat sur quelques aspects de la reproduction chez la mésange bleue Cyanistes caeruleus au niveau de la forêt de Beni-Salah (Bouchegouf, Nord-Est de l'Algérie) ». *Bulletin de la Société zoologique de France* 143 (3): 187-98.

Brossault, Paul. 2016. « Concilier gestion forestière et protection des sites de nidification de la Cigogne noire ». *Ornithos : Revue d'ornithologie de terrain*, 2016.

Bruciamacchie, Max. 1991. « Protocole d'installation d'un réseau de placettes expérimentales dans des peuplements irréguliers. Réseau AFI : Suivi dendrométrique, économique et écologique ».

Buler, Jeffrey, Frank R. Moore, et Stefan Woltmann. 2007. « A multi-scale examination of stopover habitat use by birds ». *Ecology* 88 (7): 1789-1802.

« Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Cahiers Oiseaux (version provisoire) ». 2008. Ministère en charge de l'écologie - MNHN.
Chevallier, D., F. Baillon, J.-P Robin, Y. Le Maho, et S. Massemin-Challet. 2008. « Prey selection of the black stork in the African wintering area ». *Journal of Zoology* 276: 276-84.

Chevallier, D., R. Duponnois, P. Brossault, F. Baillon, P. Lorgé, Y. Le Maho, et S. Massemin-Challet. 2010c. « The importance of roosts for Black Storks Ciconia nigra wintering in West Africa ». *Ardea* 98 (1): 91-96.

Chevallier, D., Y. Handrich, J-Y. Georges, P. Brossault, F. Baillon, A. Aurouet, Y. Le Mahot, et S. Massemin-Challet. 2010a. « Influence of weather conditions on the flight characteristics of migrating Black storks (Ciconia nigra) ». *Proceeding of the Royal Society* 277: 2755-64.

Chevallier, D., Y. Le Maho, F. Baillon, A. Aurouet, C. Dieulin, P. Brossault, P. FrancLieu, P. Lorgé, et S. Massemin-Challet. 2010b. « Human activity and the drying up of rivers determine abundance and spatial distribution of Black Storks Ciconia nigra on their wintering grounds ». *Bird study* 57 (3): 369-80.

Collias, Nicholas E. 1964. « The evolution of nests and nest-building in birds ». *Am. Zoologist* 4: 175-90.

Court, Gordon S., C. Cormack Gates, et David A. Boag. 1988. « Natural History of the Peregrine Falcon in the Keewatin District of the Northwest Territories ». *Arctic* 41 (1): 17-30.

Delassus, Loïc. 2015. « Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques ». Conservatoire Botanique National de Brest.

Denis, Pascal, et Paul Brossault. 2016. « Historique de la population nicheuse de Cigogne noire en France ». *Ornithos : Revue d'ornithologie de terrain*, 2016.

« Description de la Cigogne noire ». s. d. Cigogne noire. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. https://cigogne-noire.fr.

« Directive 2009/147/CE du Parlement Européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages (version codifiée) ». 2010. *Journal Officiel de l'Union Européenne*.

Fortin, Mathieu. 2015. « Dendrométrie et inventaire forestier ».

Freund, Myriam, Ofer Bahat, et Uzi Motro. 2017. « Breeding Success and its Correlation with Nest-Site Characteristics : A Study of Griffon Vulture Colony in Gamla, Israel ». *Journal of Raptor Research* 51: 136-44.

Galipeau, Philippe. 2016. « Modélisation de l'habitat de nidification chez deux rapaces au Nord de l'Île de Baffin, Nunavu : mémoire présenté dans le cadre du programme de maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats ». Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie.

Gamblin, Bernard, et Jacques Le Héricy. 2009. « N° NDS-09-T-310 Note de service : îlots de vieux bois ». ONF.

Hildén, Olavi. 1965. « Habitat selection in birds : A review ». *Annales Zoologici Fennici* 2: 53-75.

Hutto, R. L. 1985. « Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds ». *M. L. Cody (ed.) Habitat Selection in Birds*, 455-76.
« Inventaire Forestier ». 2018. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. https://inventaire-forestier.ign.fr.

Jadoul, Gérard. 1994. *La cigogne noire, chronique d'un retour annoncé*. Éditions du Perron.

Jadoul, Gérard. 2000. *La migration des cigognes noires, du chêne au baobab*. Éditions du Perron.

Jadoul, Gérard, et Pauline Cabaret. 2003. « Statut de la Cigogne noire (Ciconia nigra) en Wallonie et choix des sites de nidification ». *Aves* 40: 28-37.

James, Frances C. 1971. « Ordinations of Habitat Relationships among Breeding Birds ». *The Wilson Bulletin* 83: 215-36.

James, H. C., et H. H. Shugart. 1970. « A quantitative method of habitat description ». *Audubon Field Notes* 24: 727-36.

Jiguet, Frédéric, et Stéphane Villarubias. 2004. « Satellite tracking of breeding black storks Ciconia nigra : new incomes for spatial conservation issues ». *Biological Conservation* 120: 157-64.

Kalinski, Adam, Jaroslaw Wawrzyniak, Miroslawa Banbura, Joanna Skwarska, Piotr Zielinski, Michal Gladalski, et Jerzy Banbura. 2014. « Does the threat of European Pine Marten (Martes martes) predation influence the height of nests built by Blue Tits (Cyanistes caeruleus) and Great Tits (Parus major)? » *Avian Biology Research* 7 (2): 83-90.

Kalocsa, Bela, et Eniko Ana Tamas. 2003. « Conservation Measures for the Black Stork (Ciconia nigra) in Hungary, particularly in the Gemenc Region of the Danube-Drava National Park, 1996-2000 ». *Aves* 40: 222-27.

Lohmus, Asko, et Urmas Sellis. 2003. « Nest trees - a limiting factor for the Black Stork (Ciconia nigra) population in Estonia ». *Aves* 40: 84-91.

Maurice, Thomas, et Luc Strenna. 2008. « Le Milan royal Milvus milvus en Bourgogne : historique, enjeux, actions et perspectives en faveur de l'espèce ». *Rev. sci. Bourgogne-Nature*, 2008.

McGrath, Michael T., Stephen DeStefano, Robert A. Riggs, Larry L. Irwin, et Gary J. Roloff. 2003. « Spatially Explicit Influences on Northern Goshawk Nesting Habitat in the Interior Pacific Northwest ». *Wildlife Monographs* 154: 1-63.

Ministère d'État, et Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer. 2015. « Arrêté du 29/10/09 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection modifié par l'arrêté du 21/07/2015 ». *Journal Officiel de la République Française* 172.

Moller, Anders P., Frank Adriaensen, et Alexandr Artemyev. 2014. « Variation in clutch size in relation to nest size in birds ». *Ecology and Evolution* 4 (18): 3583-95.

Muséum national d'Histoire naturelle. 2003. « Inventaire National du Patrimoine Naturel ». [en ligne, consulté le 17/09/2018]. https://inpn.mnhn.fr.

Nageleisen, Louis-Michel, Morgane Goudet, et François-Xavier Saintonge. 2017. « Guide de notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres forestiers dans un contexte de dépérissement (protocole DEPERIS) ». *Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*.

« Notice pour la mise en place et la saisie des données du protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières ». 2012. ENGREF, RNF, ONF, CEMAGREF, IFN.

Office national des forêts. 2016. « Le suivi des nichées de Cigogne noire, un descripteur de la gestion durable des forêts domaniales en France ». *Ornithos : Revue d'ornithologie de terrain*, 2016.

OIEau. 2017. « Glossaire sur l'eau ». EauFrance. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. http://www.glossaire.eaufrance.fr.

Piboule, Alexandre. 2014. « Computree: a collaborative platform to analyze 3D point clouds of forests ». Workshop FORESEE - Forestry applications of remote sensing technologies. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. http://foresee.fcba.fr/wp-content/uploads/sites/9/2014/10/5-1-foresee-workshop-oct-14_piboule-fr.pdf.

Pojer, Frantisek. 2003. « Black Stork (Ciconia nigra) in the Czech Republic : Present Status and Conservation ». *Aves* 40: 20-21.

Pruvost, Thomas, Paul Brossault, et Damien Chevallier. 2016. « Éco-éthologie de la Cigogne noire : caractérisation des zones de gagnage ». *Ornithos : Revue d'ornithologie de terrain*, 2016.

Rech, Pierre-Emmanuel, et Sylvain Dejean. 2011. « Inventaires naturalistes et Plan de Gestion de la prairie humide « du Moulin » Lectoure(32 ». Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées.

« Résultats d'inventaire forestier : méthodologie. Pour bien comprendre les résultats publiés. » 2017. Inventaire forestier. [en ligne, consulté le 17/09/2018]. https://inventaire-forestier.ign.fr.

Speiser, Robert, et Thomas Bosakowski. 1987. « Nest Site Selection by Northern Goshawks in Northern New Jersey and Southeastern New York ». *The Condor* 89 (2): 387-94.

Strazds, Maris. 2003a. « Conservation Status of the Black Stork (Ciconia nigra)in Europe and in the world ». *Aves* 40: 12-13.

Strazds, Maris. 2003b. « Longevity of Black Stork (Ciconia nigra) nests and nest site protection in Latvia ». *Aves* 40: 69-70.

Strazds, Maris, Andis Liepa, et Janis Kuze. 2003. « Spatial pattern of Black Stork (Ciconia nigra) territories in Kemeri National Park, Latvia ». *Aves* 40: 70-71.

Swenson, Jon E. 1981. « Osprey Nest Site Characteristics in Yellowstone National Park ». *Journal of Field Ornithology* 52: 67-69.

Teitelbaum, Claire S., J. Converse, William F. Fagan, Katrin Böhning-Gaese, Robert B. O'Hara, Anne E. Lacy, et Thomas Mueller. 2016. « Experience drives innovation of new migration patterns of whooping cranes in response to global change ». *Nature Communications* 7.

Therrien, Jean-François, Gilles Gauthier, Audrey Robillard, Nicolas Lecomte, et Joël Bêty. 2015. « Écologie de la reproduction du harfang des neiges dans l'Arctique canadien ». *Le Naturaliste canadien* 139 (1): 17-23.

Vlachos, Christos G., Dimitrios E. Bakaloudis, Olga G. Alexandrou, Vasileios A. Bontzorlos, et Malamati A. Papakosta. 2008. « Factors affecting the nest site selection of the black stork, Ciconia nigra in the Dadia-Lefkimi-Soufli National Park, north-eastern Greece ». *Folia Zool.* 57 (3): 251-57.

Wesołowski, Tomasz, et Sylwia Wierzcholska. 2018. « Tits as bryologists: patterns of bryophyte use in nests of three species cohabiting a primeval forest ». *Journal of Ornithology*, 1-13.

Liste des contacts

Damien CHEVALLIER : CNRS IPHC – damien.chevallier@iphc.cnrs.fr
Jean-Jacques BOUTTEAUX : ONF – jean-jacques.boutteaux@onf.fr
Frédéric CHAPALAIN : CRBPO – frederic.chapalain@gmail.com
Paul BROSSAULT : (ex-) ONF
Jérôme BERNARD : ONF – jerome.bernard@onf.fr
Daniel DUPUY : (ex-) ONF
Vincent BERLAN : ONF – vincent.berlan@onf.fr
Pierre GATHELIER : ONF – pierre.gathelier@onf.fr
Sylvain URION : ONF – sylvain.urion@onf.fr
Gervais DUC : ONF – gervais.duc@onf.fr
Catherine BERNARDIN : ONF – catherine.bernardin@onf.fr
Alexis BRESSON: ONF – alexis.bresson@onf.fr
Pascal LORY: ONF – pascal.lory@onf.fr
Jean-Jacques LIMOGES : LPO – jeanjacqueslimoges@orange.fr
Roch LEMOINE : ONF – roch.lemoine@onf.fr
Serge COINE : ONF – serge.coine@onf.fr
Charles PAPAGEORGIOU : ONF – charles.papageorgiou@onf.fr
Jean-Luc DESSOLIN : ONF – jean-luc.dessolin@onf.fr
Alexandre PIBOULE : ONF – alexandre.piboule@onf.fr
Fabrice CROSET : LPO – crosetf@gmail.com

Annexes

Annexe 1 : Guide pour la collecte des données de caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire (pages 1 et 2) 66
Annexe 2 : Strastification de la végétation (d'après Delassus et al., 2015, modifié) 67
Annexe 3: Tableau pour l'attribution de la note globale d'état sanitaire d'un arbre (Nageleisen et al., 2017) 68
Annexe 4 : Corrélogramme entre les différentes variables paysagères des sites de nidification chez la cigogne noire .. 68
Annexe 5 : Corrélogramme entre les différentes variables caractérisant le macro-habitat des sites de nidification chez la cigogne noire 69
Annexe 6 : Corrélogramme entre les différentes variables caractérisant le micro-habitat des sites de nidification chez la cigogne noire 70

Annexe 1 : Guide pour la collecte des données de caractérisation des sites de nidification chez la cigogne noire (pages 1 et 2)

Caractérisation des sites de nidification de la cigogne noire

Observateurs :

Conditions de relevé : *Cocher les propositions qui conviennent*

Identification, contexte

Code du nid :		
Région :		
Département :		
Commune :		Date relevé :
Lieu-dit :		Coordonnées Lambert II X :
Propriété forestière :	☐ FD	Coordonnées Lambert II Y :
	☐ FC	N° de parcelle forestière :
	☐ FS	
	☐ FP	***Prendre des photos du site et du nid***

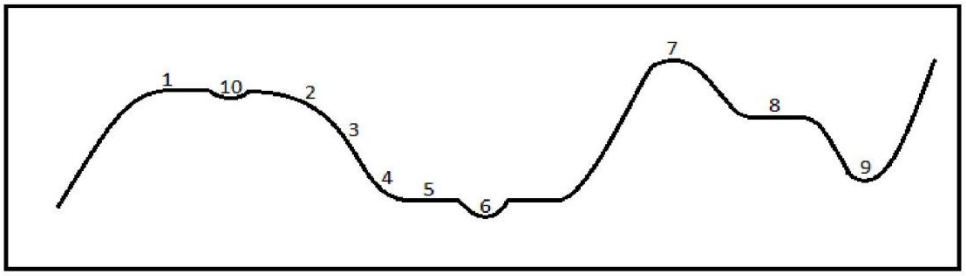
Conditions écologiques abiotiques

Altitude (en m) :

Exposition de la pente dominante (en gr) :

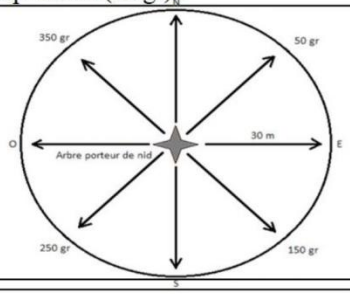
Pente (en gr) :

Profil topographique (cf schéma) :			
1 : plateau	☐	6 : bord de cours d'eau	☐
2 : haut de versant	☐	7 : sommet étroit, croupe	☐
3 : rupture de pente	☐	8 : replat	☐
4 : bas de versant	☐	9 : vallée étroite, fond de vallon	☐
5 : vallée large (largeur > 100 m)	☐	10 : dépression	☐

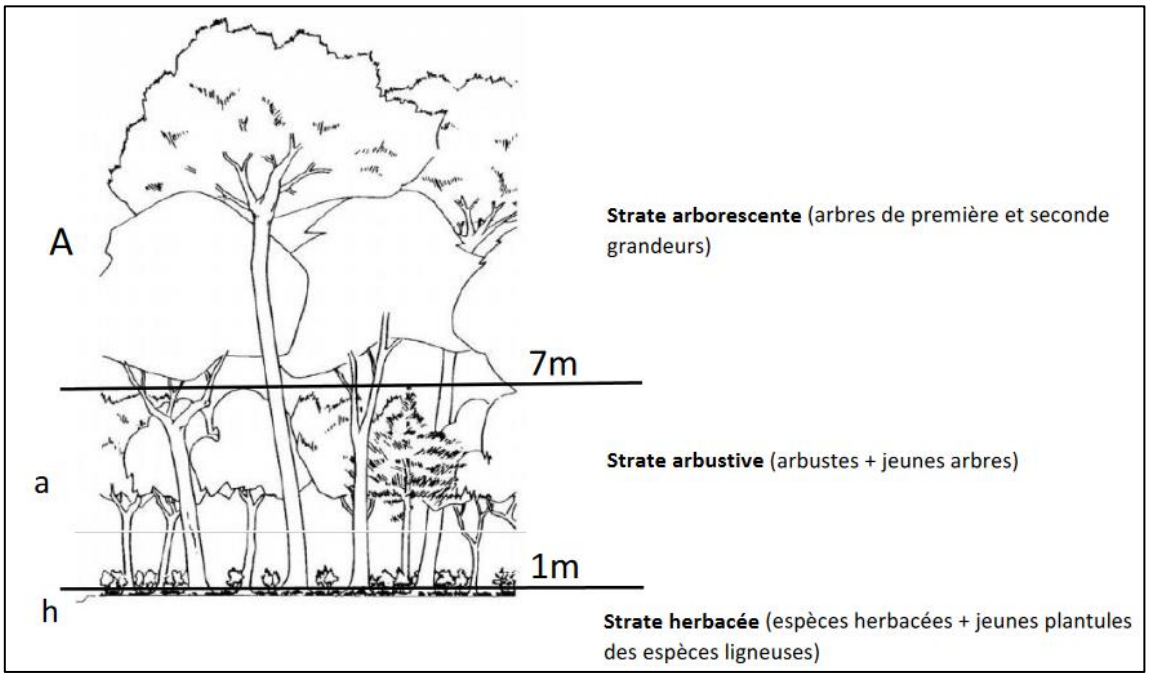


Caractéristation du macro-habitat

Traitement sylvicole :	☐ Futaie régulière	☐ Taillis
	☐ Futaie irrégulière	☐ TSF
	☐ Futaie jardinée	☐ Traitement mixte
	☐ Attente sans traitement défini	☐ Hors sylviculture
Type de mélange selon la position sociale des arbres (cf schéma) :	☐ Par étage superposé	
	☐ Dominant-dominé	
	☐ Irrégulier	
Pourcentage de couvert arboré (%) :		
Pourcentage de couvert arbustif (%) :		
Le nid est-il en bord de cloisonnement :	☐ Oui	☐ Non
Distance du nid à la trouée la plus proche (en m) :		

Caractérisation du micro-habitat		
Hauteur de la première branche du houppier de l'arbre porteur de nid (en m) :		
Exposition du nid dans l'arbre (en gr) :		
Age de l'arbre porteur de nid :	☐ [50 - 100[	
	☐ [100 - 150[	
	☐ >= 150	
Si présence d'une trouée en bordure de l'arbre, *indiquer* l'exposition (en gr) :		
Indiquer le couloir d'approche du nid et/ou les perchoirs (schéma) :		
Diamètre de la branche porteuse de nid :	☐ < 20 cm	
	☐ [20-40[cm	
	☐ >= 40 cm	
Particularité d'embranchement de l'arbre porteur de nid (photos):	☐ Branche tabulaire	☐ Fourche
	☐ Autre :	
Hauteur du nid dans l'arbre (en m) :		
Position du nid dans l'arbre (photos) :	☐ Base du houppier	☐ Branche latér.
	☐ Milieu du houppier	☐ Axe du tronc
	☐ Haut du houppier	☐ Autre :
Espace disponible à la verticale du nid (en m) :		
Distance entre le nid et l'aplomb du houppier (en m) :		
Distance entre le nid et le tronc (en m) :		
Diamètre du nid (en cm) : ☐ < 100	☐ [100;150[	☐ >= 150
Adultes bagués observés sur le site lors du relevé :	☐ Oui	
	☐ Non	

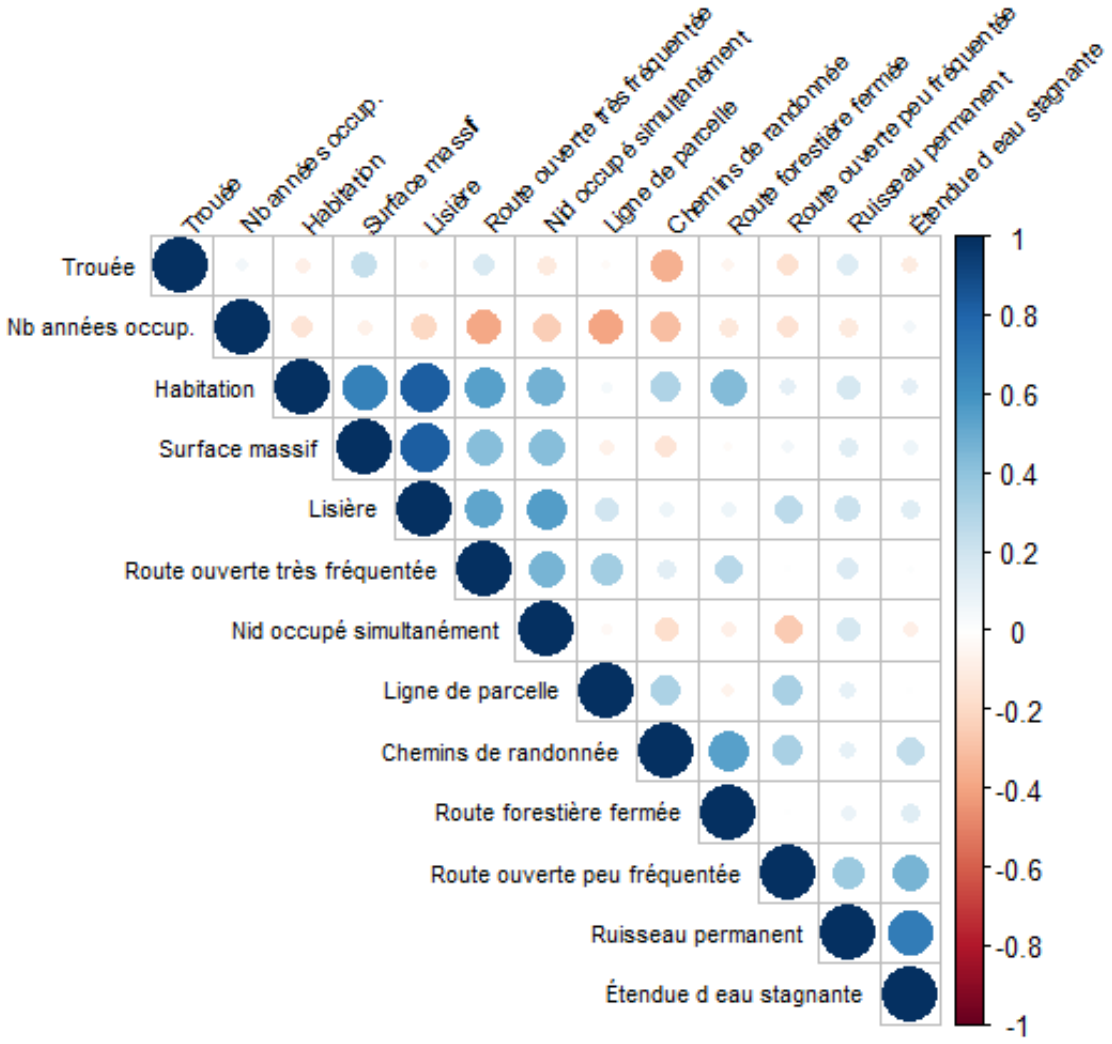
Annexe 2 : Strastification de la végétation (d'après Delassus et al., 2015, modifié)



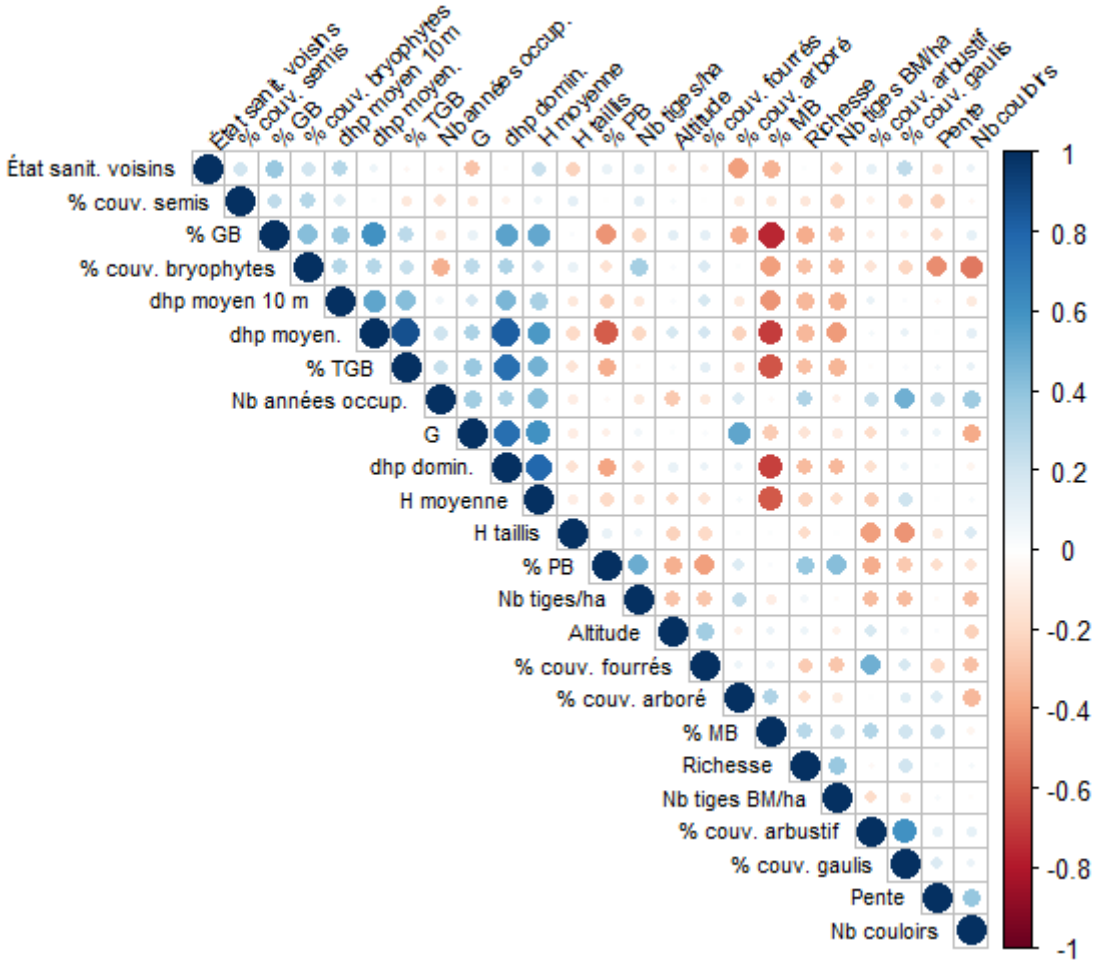
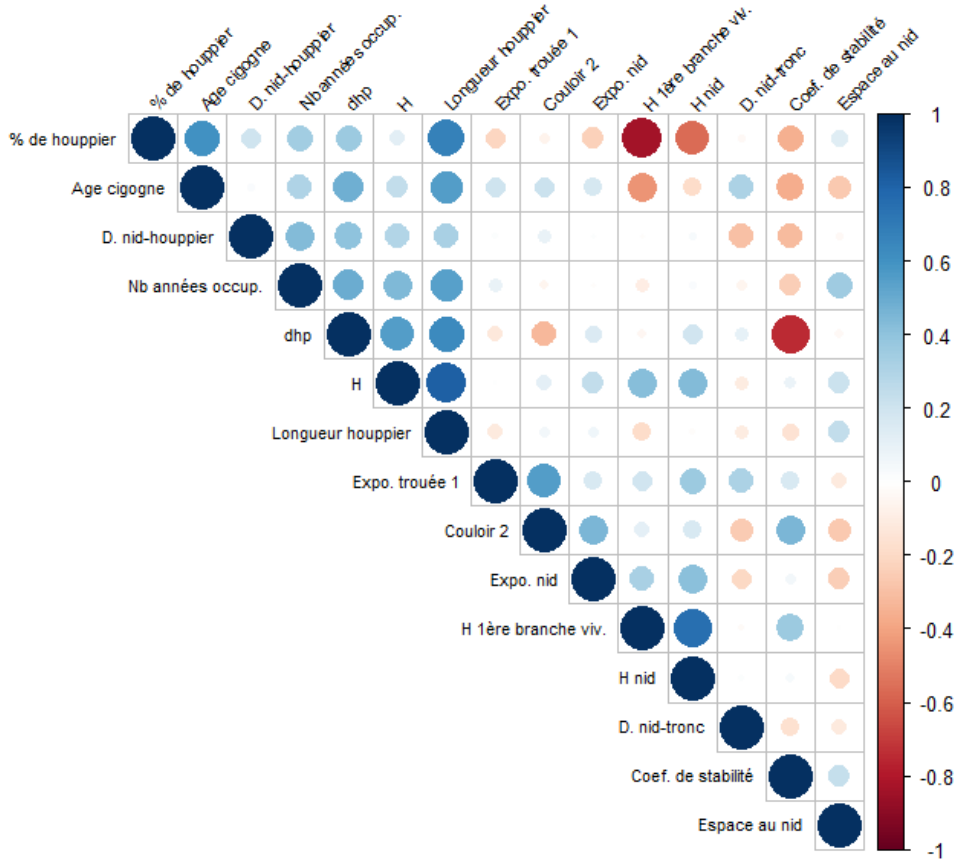
Annexe 3: Tableau pour l'attribution de la note globale d'état sanitaire d'un arbre (Nageleisen et al., 2017)

Mortalité de Branches	Manque de Ramifications (feuillus) Manque d'Aiguilles (résineux sauf mélèze)					
	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	1	2	3	3	4	5
2	2	3	3	4	4	5
3	3	3	4	4	5	5
4	4	4	4	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5

Annexe 4 : Corrélogramme entre les différentes variables paysagères des sites de nidification chez la cigogne noire



Annexe 5 : Corrélogramme entre les différentes variables caractérisant le macro-habitat des sites de nidification chez la cigogne noire



Annexe 6 : Corrélogramme entre les différentes variables caractérisant le micro-habitat des sites de nidification chez la cigogne noire