

Prise en compte du Circaète Jean-le-Blanc dans la gestion forestière



Dominante d'approfondissement Gestion forestière

Présenté par : Mathieu GARNODON

Stage effectué du 02/03/2020 au 28/08/2020

A l'Office National des Forêts, 2 Avenue Saint-Mandé, 75570, Paris CEDEX 12

Maître de stage : Géraud LAVANDIER

Enseignant référent : Éric LACOMBE

Soutenu le 30/09/2020

Année 2019-2020

Photographies de Mathieu Garnodon.

Prise en compte du Circaète Jean-le-Blanc dans la gestion forestière

Dominante d'approfondissement Gestion forestière

Présenté par : Mathieu GARNODON

Stage effectué du 02/03/2020 au 28/08/2020

A l'Office National des Forêts, 2 Avenue Saint-Mandé, 75570, Paris CEDEX 12

Maître de stage : Géraud LAVANDIER

Enseignant référent : Éric LACOMBE

Soutenu le 30/09/2020

Année 2019-2020

Résumé

Le Circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*) est un rapace diurne nichant en forêt. Bien qu'il ne soit pas menacé à court terme, les effectifs peuvent chuter rapidement. Ainsi, dans les forêts gérées par l'Office National des Forêts, des mesures sont mises en place pour préserver la quiétude autour de son nid durant la période de reproduction vis-à-vis de l'exploitation forestière. L'étude menée ici visait à évaluer et améliorer ces mesures.

A partir de suivis de reproduction réalisés dans le Parc National des Cévennes au cours des 15 dernières années, il semble que les mesures appliquées soient efficaces localement, mais ce résultat n'est pas extrapolable actuellement.

Les entretiens menés auprès de naturalistes et de forestiers mettent en avant les manques de communication qu'il peut exister entre eux ainsi que les manques de connaissance des sites de reproduction. Il s'agirait des principaux freins à la protection de l'espèce.

Enfin, afin de préserver des sites favorables à la nidification du Circaète Jean-le-Blanc avant son installation, un travail a été réalisé pour identifier les caractéristiques paysagères un kilomètre autour de sites connus en vue d'en créer un modèle. Cela n'a pas été possible car le paysage autour des sites semble très variable, y compris au sein d'une zone d'étude restreinte, ce qui pourrait suggérer une faible sensibilité de l'espèce quant à l'environnement de son site de reproduction. Seule la présence de forêt apparaît comme importante.

Tous les résultats issus de cette étude doivent faire l'objet d'un approfondissement et sont donc à prendre avec précaution.

Abstract

The Short-toed Snake-Eagle (*Circaetus gallicus*) is a diurnal raptor nesting in forest. Although it is not threatened in the short term, the size of the population can decrease fastly. Thus, in forests managed by the National Forestry Office (Office National des Forêts), some precautions are taken in order to preserve quiet around nests from lumbering during the breeding period. The goal of the present study was to assess and improve these precautions.

Thanks to nesting monitoring that has been led in the National Park of Cévennes (Parc National des Cévennes) for the last fifteen years, it seems that above-mentioned precautions are efficient locally. However, these results should not be generalized.

Interviews of naturalists and foresters put forward lacks of communication that can exist among themselves and lacks on knowledge about nesting sites. These elements may be the most important obstacle to the protection of this species.

Finally, a study was carried out in order to identify and to preserve probable nesting site of the Short-toed Snake-Eagle before they had nest. Some analysis have been done on landscape characteristics in a 1km radius around existing nests. These data would have been used to create a model, but this project turned out to be impossible. Indeed, landscape around these sites were very different, even in a small area. Therefore, it seems that only forest matters to the Short-toed Snake-Eagle.

All results from this study need to be deepened, so they should be used with caution.

Engagement de non-plagiat

① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à 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.

② 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 sûr d'en citer la source.

③ Sanctions

- En cas de manquement à ces consignes, la direction des études et de la pédagogie ou le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

④ Engagement

Je soussigné (e) Mathieu Garnodon,

reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat.

À Albertville le 14 septembre 2020.

Signature :



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

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE

AgroParisTech	TRAVAIL D'ÉLÈVE
TITRE : Prise en compte du Circaète Jean-le-Blanc dans la gestion forestière	Mots clés : Circaète Jean-le-Blanc ; Gestion forestière ; Protection ; Rapaces ; Habitat ; Nidification
AUTEUR ou AUTRICE : Mathieu GARNODON	Année : 2020
Caractéristiques : 1 volume ; 101 pages ; 24 figures ; 12 tableaux ; 2 équations ; 14 annexes	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME DE STAGE : Office National des Forêts		
Nom du responsable : Géraud LAVANDIER		
Fonction : Responsable de l'unité territoriale de Digne-les-Bains et référent national Circaète		
Nom du correspondant APT : Eric LACOMBE		
<input type="checkbox"/> 1A <input type="checkbox"/> 2A <input checked="" type="checkbox"/> 3A	<input type="checkbox"/> Stage entreprise <input type="checkbox"/> Stage assistant ingénieur <input checked="" type="checkbox"/> Stage fin d'études Date de remise : 15/09/2020	<input type="checkbox"/> Autre

SUITE À DONNER (à compléter par AgroParisTech)

<input checked="" type="checkbox"/> Consultable et diffusable <input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente <input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../..... , puis diffusable
--

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes m'ayant permis de réaliser ce stage. Il me semble primordial de commencer par l'ensemble des naturalistes ou forestiers du réseau « Circaète » qui ont accepté de me faire confiance en me communiquant des informations précieuses et sensibles qui sont à la base de l'intégralité du travail mené ici et sans qui il aurait été totalement impossible de réaliser cette étude. J'aimerais également grandement remercier une nouvelle fois les personnes ayant acceptées de participer à l'enquête mené durant ce stage.

Je souhaiterais remercier la Ligue de Protection des Oiseaux et notamment Renaud Nadal, pour son aide précieuse et indispensable lors de la prise de contact avec l'ensemble du réseau.

Il me paraît important de remercier spécifiquement Cédric Arnaud, Jacques Anglade, Guillaume Fréchet et Isabelle Bassi car les données qu'ils m'ont communiqué tiennent une place centrale au cœur de cette étude.

Je me dois également de remercier le Parc National des Cévennes, et tout particulièrement Jean-Pierre Malafosse, dont les données de suivis ont été cruciales pour cette étude. Mais aussi pour m'avoir permis de partager avec lui pendant quelques jours cette passion commune pour le Circaète et d'en apprendre plus sur cet oiseau magnifique.

J'aimerais bien sûr remercier l'ensemble des personnes de l'Office National des Forêts qui ont contribuées de près ou de loin à ce stage, et elles sont nombreuses. Merci à Benoit Loussier de m'avoir accueilli dans les locaux de l'agence dont il a la direction. Un grand merci également à Pascal Denis et, il en va de soi, à mon maître de stage Géraud Lavandier, pour m'avoir offert la possibilité de réaliser un stage sur ce sujet qui me tenait particulièrement à cœur et m'avoir permis de travailler pendant 6 mois sur une espèce aussi singulière que le Circaète.

Merci également à l'ensemble des enseignants que j'ai eu tout au long de ma scolarité qui m'ont permis d'en arriver où j'en suis actuellement, et plus particulièrement à ceux d'AgroParisTech Nancy qui m'ont permis de découvrir les forêts mais également la protection de l'environnement sous un nouveau jour. Un immense merci aux deux professeurs d'exception que sont Max Brucciamacchie et Eric Lacombe qui assurent la formation durant la spécialisation en gestion forestière qui fut sans nul doute les 6 mois les plus riches en enseignements de toute ma scolarité.

Merci à Sylvie Ladet (DYNAFOR), à Marieke Blondet (AgroParisTech Nancy) et à Ludovic Journaux pour l'aide et les conseils qu'ils m'ont apporté durant le stage.

J'aimerais remercier une fois de plus Géraud Lavandier et Eric Lacombe pour m'avoir encadré et grandement conseillé tout au long de ce stage.

Enfin, merci à ma famille et mes amis pour leur aide, leur soutien et leur présence tout au long de ma scolarité.

Avertissement

Dans un souci de légèreté le terme Circaète désignera dans l'ensemble du présent rapport le Circaète Jean-le-Blanc : *Circaetus gallicus* Gmellin, 1788.

Table des matières

Remerciements	1
Avertissement.....	1
Table des figures	4
Table des tableaux	5
Table des équations	5
Liste des sigles et abréviations	6
Introduction	7
1. Présentation du stage	8
1.1. Contexte de l'étude.....	8
1.1.1. Protection juridique du Circaète	8
1.1.2. Effectif et répartition de l'espèce en France	8
1.1.3. L'Office National des Forêts	10
1.1.4. Protection de la biodiversité à l'ONF	10
1.2. Présentation et objectif de l'étude	12
1.3. Biologie du Circaète.....	13
1.3.1. Chronologie de la reproduction	13
1.3.2. Habitat	14
1.3.3. Chasse et alimentation.....	15
1.4. Éléments importants à retenir pour l'étude.....	16
2. Etude de l'efficacité des mesures de protection mises en place lors de l'activation d'une prescription Circaète.....	17
2.1. Mise en relation des données de suivi de sites de reproduction avec leur historique de sylviculture.....	17
2.1.1. Objectifs et méthode.....	17
2.1.2. Analyse et résultats.....	19
2.2. Comparaison de suivis de reproduction en Lozère entre des zones exploitées et des zones « auto-protégées »	20
2.2.1. Objectif.....	20
2.2.2. Analyse statistique.....	20
2.2.3. Résultats	21
2.3. Enquête auprès de naturalistes et de forestiers quant à leur avis sur les mesures prises par l'ONF 22	
2.3.1. Objectifs et méthode.....	22
2.3.2. Analyse et résultats.....	23
2.4. Bilan de l'étude	26
3. Caractérisation paysagère des sites de nidification du Circaète	27
3.1. Première approche : sur l'ensemble de la France	27
3.1.1. Choix des variables.....	27
3.1.2. Calcul des variables et données utilisées	28
3.1.3. Analyse et résultats.....	31

3.2.	Deuxième approche : étude plus approfondie sur 3 secteurs.....	34
3.2.1.	Méthode.....	34
3.2.2.	Analyses en Composantes Principales	38
3.2.3.	Régression logistique.....	49
3.3.	Bilan de l'étude	50
4.	Protection des sites de reproduction du Circaète : bilan, propositions et perspectives	51
4.1.	Bilan général.....	51
4.2.	Limites.....	51
4.3.	Propositions.....	52
4.3.1.	Renforcement de la collaboration entre naturalistes et forestiers.....	52
4.3.2.	Evolution des prescriptions	52
4.3.3.	Mise en place d'un suivi de la reproduction du Circaète.....	52
4.4.	Perceptives.....	54
	Conclusion.....	55
	Bibliographie.....	56
	Liste des contacts principaux	58
	ANNEXES	60
	Annexe 1 : Listes des personnes interrogées lors des entretiens	61
	Annexe 2 : Guides d'entretiens	63
	Annexe 3 : Tableau de synthèse des réponses aux entretiens.....	Confidentiel
	Annexe 4 : Liste et description des variables calculées lors de la première approche de caractérisation des sites de nidification	78
	Annexe 5 : Liste des codes utilisés pour la variable Ess	80
	Annexe 6 : Protocole d'extraction des variables nécessaire à la première approche de caractérisation des sites de nidification.....	81
	Annexe 7 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Gorges de Gardon.....	Confidentiel
	Annexe 8 : Carte de la topographie de la zone d'étude située dans les Gorges du Gardon... Confidentiel	
	Annexe 9 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Alpes de Haute-Provence Confidentiel	
	Annexe 10 : Carte de la topographie de la zone d'étude des Alpes de Haute-Provence..... Confidentiel	
	Annexe 11 : Carte de l'occupation du sol sur la zone d'étude du Médoc	Confidentiel
	Annexe 12 : Carte de la topographie de la zone d'étude du Médoc	Confidentiel
	Annexe 13 : Correspondance des classes d'occupation du sol définies par le CES OSO-THEIA et celles utilisées.....	91
	Annexe 14 : Protocole de calcul des variables nécessaires à la deuxième approche de caractérisation des sites de nidification sur QGIS	92

Table des figures

Figure 1 : Carte de répartition du Circaète Jean-le-Blanc en France (Pontalier H., 2019)	9
Figure 2 : Démarche générale du stage	13
Figure 3 : Chronologie de la reproduction du Circaète et sensibilité au dérangement, adaptée de (Joubert B., 2007)	16
Figure 4 : Carte de répartition des sites de nidification étudiés	28
Figure 5 : Aide à la compréhension du calcul de l'indice de rugosité	29
Figure 6 : Répartition des sites de nidification sur les plans formés par les dimensions 1 et 2 (à gauche) et 2 et 3 (à droite) issues de l'ACP	32
Figure 7 : Représentation graphique des 20 variables ayant la plus forte contribution aux dimensions 1 ou 2 issues de l'ACP sur l'ensemble des sites	32
Figure 8 : Représentation graphique des 20 variables ayant la plus forte contribution aux dimensions 2 ou 3 issues de l'ACP sur l'ensemble des sites	33
Figure 9 : Schéma illustrant la délimitation de la zone pouvant accueillir les points « zéro » au sein d'une zone d'étude	36
Figure 10 : Hétérogénéité de composition et de configuration d'un paysage (Ladet S. & al, 2017)	37
Figure 11 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les gorges du Gardon sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP	38
Figure 12 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP pour les gorges du Gardon	39
Figure 13 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les gorges du Gardon sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP	41
Figure 14 : Représentation des 15 variables les plus impliquées sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP pour les gorges du Gardon	41
Figure 15 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP	42
Figure 16 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP pour les Alpes de Haute-Provence	44
Figure 17 : Représentation des sites dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP, coloré en fonction de l'altitude	45
Figure 18 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP	45
Figure 19 : Représentation des 10 variables les plus impliquées sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP pour les Alpes de Haute-Provence	46
Figure 20 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans Médoc sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP	47
Figure 21 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP pour le Médoc	48
Figure 22 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans les gorges du Gardon	49
Figure 23 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans les Alpes de Haute-Provence	49
Figure 24 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans le Médoc	49

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Suivi de reproduction sur 5 couples concernés par la mise en œuvre de prescriptions dans les Alpes de Haute-Provence.</i>	19
<i>Tableau 2 : Comparaison des résultats de suivi de reproduction sur 15 ans pour deux populations de Circaète dans les Cévennes pour le cas 1 (inconnus pas pris en compte)</i>	22
<i>Tableau 3 : Comparaison des résultats de suivi de reproduction sur 15 ans pour deux populations de Circaète dans les Cévennes pour le cas 2 (inconnus = 0)</i>	22
<i>Tableau 4 : Nombre de sites étudiés pour chaque entité phytogéographique</i>	29
<i>Tableau 5 : Nombre de sites étudiés par GRECO</i>	29
<i>Tableau 6 : Définition des classes de rugosité</i>	30
<i>Tableau 7 : Définition des classes d'occupation du sol utilisées à partir de la BDcarto de 2012.</i>	31
<i>Tableau 8 : Répartition des sites de nidification en fonction du type de peuplement</i>	34
<i>Tableau 9 : Répartition des sites de nidification en fonction de l'exposition</i>	34
<i>Tableau 10 : Caractéristiques générales des 3 zones d'études</i>	35
<i>Tableau 11 : Présentation des variables calculées avec LecoS pour chaque classe du paysage (Journaux L., 2006)</i>	37
<i>Tableau 12 : Présentation des variables calculées avec Lecos sur l'ensemble du paysage (Journaux L., 2006)</i>	37

Table des équations

<i>Équation 1 : Formule de la variable de test permettant de comparer deux échantillons issus de variables suivant une loi de Bernoulli</i>	21
<i>Équation 2 : Formule de l'indice de rugosité</i>	29

Liste des sigles et abréviations

Sigle / abréviation	Signification
ACP	Analyse en Composantes Principales
CEE	Communauté Economique Exclusive
CITES	Convention on International Trade of Endangered Species
CNPEF	Cahier National de Prescriptions d'Exploitation Forestière
CNPTSF	Cahier National de Prescriptions des Travaux et Services Forestiers
com. pers.	Communication personnelle
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
EPIC	Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial
GPS	Global Positioning System
GRECO	Grandes régions écologiques
IGN	Institut Géographique National
LPO	Ligue de Protection des Oiseaux
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MNT	Modèle Numérique de Terrain
ONF	Office National des Forêts
OPIE	Office pour la Protection des Insectes et de leur Environnement
PMS	Point modélisant le site d'étude
RNEF	Règlement National d'Exploitation Forestière
RNTSF	Règlement National des Travaux et Services Forestiers
RUT	Responsable d'Unité Territoriale
SIG	Système d'Information Géographique
TFT	Technicien Forestier Territorial
TRI	Terrain Ruggedness Index
UG	Unité de Gestion
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UT	Unité Territoriale

Introduction

Aujourd'hui, la multifonctionnalité des forêts est de plus en plus mise en avant dans la gestion forestière, afin de concilier la production et la récolte de bois avec les autres enjeux de la forêt. Ces enjeux sont variés, il peut s'agir de la protection contre les risques naturels qu'apportent certaines forêts, en montagne notamment. Les enjeux sociaux sont de plus en plus prégnants, que ce soit la protection des captages d'eau, la préservation du paysage ou l'accueil du public en forêt. La gestion forestière peut également engendrer des impacts environnementaux importants, que ce soit sur les sols, les cours d'eau, la santé des forêts ou la biodiversité. Les conséquences sur l'environnement de cette gestion ont pendant un certain temps été totalement négligées, et c'est parfois toujours le cas. Cependant depuis plusieurs décennies, une prise de conscience sur les dangers que peut représenter la gestion forestière pour l'environnement émerge et des mesures sont prises pour le protéger. Il y a encore quelques dizaines d'années il était impensable de laisser un bois mort en forêt. Celle-ci devait être « propre » mais les choses ont évolué, évoluent et évolueront encore.

L'étude présentée ici s'intègre dans une volonté de l'Office National des Forêts de prendre en compte la biodiversité dans sa gestion forestière. Elle est ciblée sur un rapace : le Circaète Jean-le-Blanc. Des mesures sont prises afin de préserver sa quiétude durant sa période de reproduction depuis plusieurs années, comme pour d'autres rapaces. L'une des questions principales au sein de l'ONF, et plus particulièrement pour son réseau avifaune, est de savoir si les mesures destinées au Circaète sont efficaces et lui permettent de réussir ou non sa reproduction en cas d'intervention sylvicole sur son site de nidification. D'autres modes de protection que celui mis en place actuellement sont proposés par des naturalistes ou des forestiers. L'un d'entre eux consisterait à préserver des sites favorables à la nidification de l'espèce avant qu'un couple décide de s'y installer. Pour cela, il est nécessaire d'être en mesure d'identifier ces sites. Il est donc nécessaire de connaître les exigences du Circaète quant au choix de son site de nidification.

Ainsi, après une présentation de l'étude, de son contexte et de ses objectifs, ce rapport présentera le travail mené pour évaluer les mesures actuellement mises en place en faveur du Circaète. Par la suite sera détaillé le travail réalisé en vue de caractériser le paysage autour des sites de nidification de l'espèce. Enfin, à partir des résultats obtenus, une discussion aura lieu quant à la protection du Circaète Jean-le-Blanc en forêt, sur ses évolutions possibles ou souhaitables.

1. Présentation du stage

1.1. Contexte de l'étude

1.1.1. Protection juridique du Circaète

Comme beaucoup de rapaces, le Circaète fut persécuté en France et en Europe pendant plusieurs siècles, jugé nuisible. Des primes étaient données à toutes personnes rapportant des pattes de rapaces (Génsbøl B, 2004). A partir du vingtième siècle, la modification des habitats ainsi que la pollution due à l'intensification de l'agriculture et à l'industrialisation se sont ajoutées aux persécutions directes, ce qui a accéléré la chute des populations de rapaces (Génsbøl B, 2004 ; Parc National de Cévennes, 2004). La limite Nord de l'aire de nidification du Circaète recula de 1000 km en Europe occidentale, et l'espèce disparut d'Europe centrale (Génsbøl B, 2004).

C'est à partir de 1960 qu'une prise de conscience de la nécessité de protection des rapaces émerge. Le Circaète est l'un des premiers rapaces à avoir bénéficié d'un statut de protection en France, en 1962, ainsi que les quatre espèces européennes de vautours. En 1964, la loi est modifiée afin d'étendre le statut de protection au Grand-duc d'Europe, au Pygargue à queue blanche, au Balbuzard pêcheur et aux trois espèces d'aigles présentes en France (Génsbøl B, 2004). Il faudra attendre 1972 pour que l'ensemble des rapaces soit protégé en France, trois ans après la création du Fond d'Intervention pour les Rapaces (Ligue de Protection des Oiseaux, Observatoire-rapaces.lpo.fr). Plusieurs lois et conventions ont par la suite renforcé le statut de protection des rapaces au niveau national et international (Joubert B., 2001 ; Parc National des Cévennes, 2004) :

- la Loi relative à la protection de la nature du 10 juillet 1976, la liste des espèces concernées ayant été spécifiée dans l'Arrêté du 17 avril 1981 ;
- la Directive européenne n°79/409 du 6 avril 1979, dite « Directive Oiseaux », s'appliquant depuis le 6 avril 1981 à l'ensemble des pays membres de la CEE puis de l'Union Européenne ;
- la Convention de Berne signée par la France et 18 autres pays européens le 19 septembre 1979 et entrée en vigueur le 1^{er} juin 1982 ;
- la Convention de Washington (le CITES) signé en 1978 ;
- la Convention de Bonn signée le 23 juin 1979.

Ainsi, en vertu de l'alinéa 1 de l'Article L411-1 du Code de l'environnement le Circaète fait partie des espèces dont « **la destruction ou l'enlèvement des œufs ou des nids, la mutilation, la destruction, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle, la naturalisation d'animaux de ces espèces ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur détention, leur mise en vente, leur vente ou leur achat** » sont interdits. De plus, l'alinéa 3 de ce même article stipule l'interdiction de « **la destruction, l'altération ou la dégradation [...] de ces habitats d'espèces** ». Le Circaète nichant en forêt sa protection est donc une obligation pour tous les propriétaires, gestionnaires ou exploitants forestiers, et par conséquent pour l'ONF.

1.1.2. Effectif et répartition de l'espèce en France

En France, le Circaète niche aujourd'hui au sud de la diagonale Vendée-Loiret-Jura, dans une cinquantaine de départements (Malafosse J.-P., 2014). En 2002, le nombre de couple de Circaète en France était estimé entre 2400 et 2900 (Génsbøl B, 2004). Les dernières estimations issues de l'Observatoire rapaces diurnes à partir des enquêtes de 2016 et 2017 font état d'une population comprise entre 8400 et 13 300 couples nicheurs (Pontarlier H., 2019). La Figure 1 présente la carte de répartition de l'espèce en France. L'aire de répartition du Circaète s'étend vers le Nord du pays et régulièrement de nouveaux couples sont détectés, comme en Vendée (Boissonneau V., com. pers.). La nidification de

l'espèce est également attendue dans les années à venir dans certains départements comme le Maine-et-Loire ou la Loire Atlantique (Gossmann F., com. pers.). Comme l'Espagne, la France héberge une part très importante de la population européenne de Circaète, entre 30 et 35% (Génsbøl B, 2004 ; Perthuis A., 2005). En 2016, l'effectif de la population européenne représentait environ 34% de celui de la population mondiale (UICN, uicnredlist.org), la population française représenterait donc 9 à 10% de la population mondiale. Le rôle de la France dans la préservation de l'espèce est donc important.

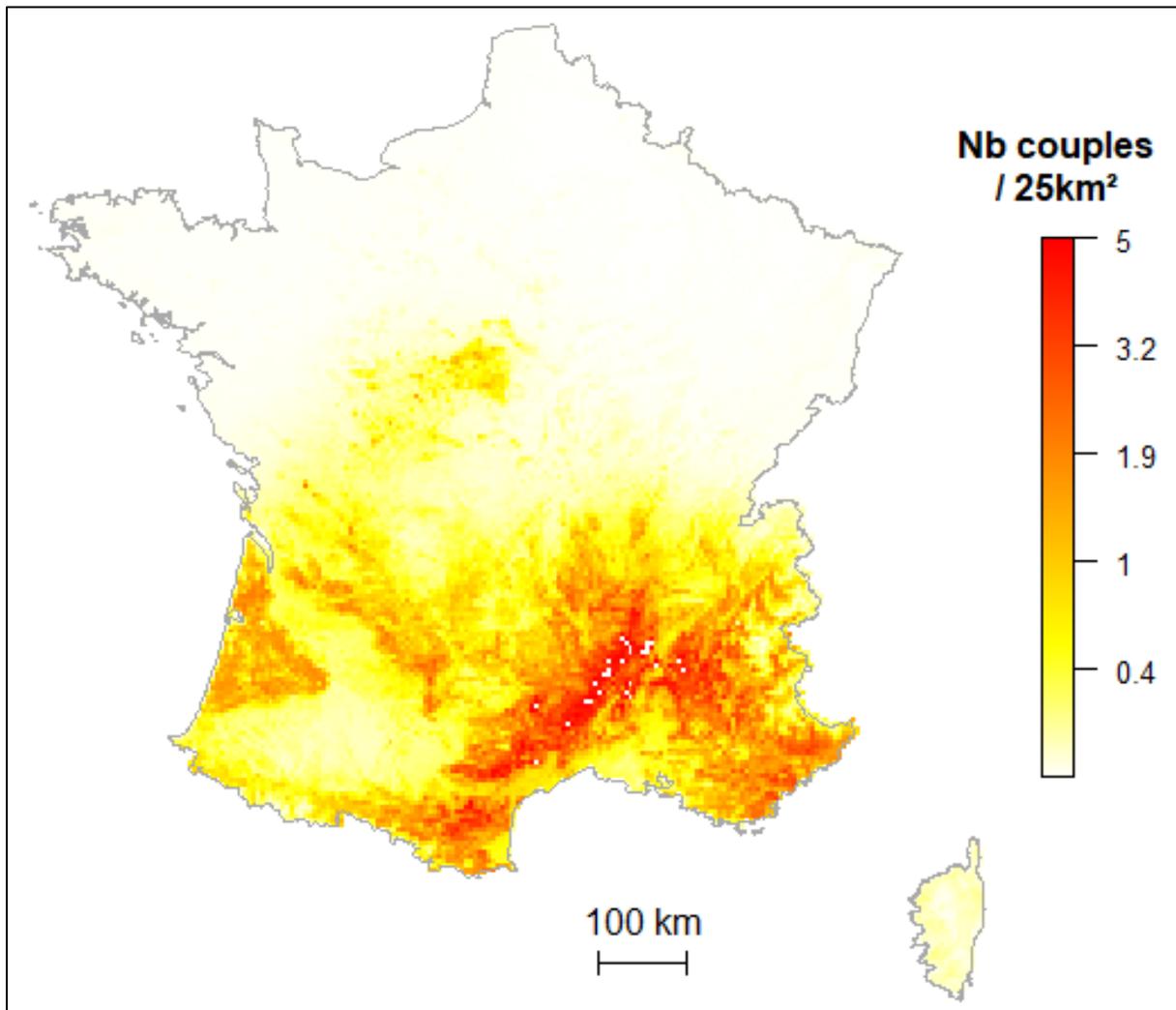


Figure 1: Carte de répartition du Circaète Jean-le-Blanc en France (Pontalier H., 2019)

Le Circaète est une espèce à préoccupations mineures sur les listes rouges de l'UICN que ce soit en France, en Europe ou dans le Monde en raison de sa large répartition (plus de 20 000 km²), et de la stabilité de l'effectif de la population mondiale, élevé qui plus est (supérieur à 10 000 individus matures) (UICN, uicnredlist.org). En France, il reste néanmoins une espèce fragile, avec moins de 20 couples par départements pour plus de la moitié de ceux effectivement occupés (Malafosse J.-P., 2014). De plus, de nombreuses menaces pèsent encore sur le Circaète telles que la raréfaction de ses proies et la dégradation ou la destruction d'habitats favorables à l'espèce. La mortalité due aux infrastructures humaines (lignes haute-tensions, éoliennes, routes) ne doit pas être négligée (Parc National des Cévennes, 2004 ; Arnaud C., com. pers.). Des actes de braconnage sont également constatés. Le dérangement humain en période de nidification est probablement une menace forte. Il semble souvent dû à des activités de loisir en plein air, en forte augmentation, telles que des courses à pied ou en vélo, des trails, l'usage d'engins motorisés (moto/quad) mais aussi la photographie. La gestion forestière est également une source de problème si des précautions ne sont pas prises. (Arnaud C., Nadal R., Gossmann F., Boissonneau V., com. pers.)

1.1.3.L'Office National des Forêts

L'Office National des Forêts (ONF) est un Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la cotutelle des ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement.

L'ONF est le gestionnaire des forêts publiques, propriétés de l'Etat ou des collectivités territoriales, représentant une surface de 11 millions d'hectares, dont 4,6 millions en France métropolitaine soit 25% de la surface forestière de la Métropole. Sa gestion est cadrée réglementairement par le « régime forestier » défini par le Code forestier et doit répondre à 4 missions principales :

- valoriser la ressource en bois ;
- agir pour l'environnement ;
- accueillir le public en forêt ;
- prévenir les risques naturels.

L'ONF est organisé sur le territoire en une pyramide à quatre niveaux, à la base se trouvent 320 unités territoriales (UT), puis 50 agences, puis 11 directions territoriales ou régionales et enfin, la direction générale.

1.1.4. Protection de la biodiversité à l'ONF

1.1.4.1. Généralités

« On entend par biodiversité, ou diversité biologique, la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, ainsi que les complexes écologiques dont ils font partie. Elle comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces, la diversité des écosystèmes ainsi que les interactions entre les organismes vivants ». (Article L 110-1 du Code de l'environnement).

La préservation de la biodiversité constitue un axe stratégique de la politique environnementale de l'ONF, s'inscrivant dans la Stratégie Nationale pour la Biodiversité, concrétisation de l'engagement pris par la France en 1994 lors de la ratification de la Convention sur la Diversité Biologique. Cependant, il n'est pas possible d'exploiter la forêt (même de manière durable) et d'appliquer une protection stricte, telle que le prévoit l'article L411-1 du Code de l'environnement, à toutes les espèces, qu'elles soient animales ou végétales, bénéficiant d'un statut de protection. En effet, des espèces communes telles que la Mésange bleue ou le Léopard des neiges sont protégées. Ainsi, telle que le prévoit la loi, il est interdit de les déranger ou de détruire, altérer ou dégrader leurs habitats, par conséquent ni coupes ni travaux ne peuvent avoir lieu en forêt, une dérogation est donc nécessaire pour toute intervention sylvicole. La loi d'orientation de la forêt de 2001 a simplifié les démarches administratives. Ainsi, le document de gestion durable d'une forêt (l'aménagement en forêt publique) vaut dérogation pour toute intervention prévue dans ce dernier. Cependant il reste nécessaire de protéger la biodiversité, il est donc primordial de prioriser les enjeux. Pour cela, à l'ONF, certaines espèces sont dites « remarquables » et prises en compte de manière systématique alors que les autres font l'objet de mesures plus globales visant à préserver la biodiversité dans son ensemble (maintien d'arbres morts ou sénescents par exemple). Il est important de souligner que la prise en compte d'une espèce particulière sur une zone donnée peut également être favorable à d'autres espèces.

En vue d'améliorer la prise en compte de la biodiversité dans sa gestion, l'ONF a mis en place des réseaux naturalistes (Avifaune, Entomologie, Habitats-Flore, Héropétofaune, Mammifères et Mycologie) en 2004. Leurs missions sont :

- améliorer les connaissances sur les espaces gérés ;
- favoriser l'intégration de la biodiversité dans la gestion forestière ;
- réaliser des études et des actions utiles à la conservation et à l'enrichissement de la biodiversité ;
- développer les relations avec des partenaires naturalistes.

Des conventions ont également été signées entre l'ONF et certaines structures naturalistes : la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO), le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et l'Office Pour les Insectes et leur Environnement (OPIE).

1.1.4.2. *Vocabulaire interne à l'ONF*

« Une **exigence** est une contrainte réglementaire, un engagement pris par l'ONF (politique environnementale, gestion forestière durable, charte, contrat, convention...) ou une mesure prise en application de dispositions internes (itinéraire technique, guide...), **à prendre en compte le plus en amont possible par l'ONF, notamment lorsqu'il est donneur d'ordre ou assistant technique à donneur d'ordre.** » (Office National des Forêts, 2018)

« Une **prescription** est la traduction de cette exigence par l'ONF en mesure(s) **à respecter par tout intervenant** (interne ou externe). Une prescription peut être :

- **générale**, si elle est applicable systématiquement et en tout lieu ; la plupart figurent dans les documents de référence tels que le RNEF ou le RNTSF¹.
- **spécifique**, si elle est applicable systématiquement en présence de l'enjeu (par exemple : captage d'eau potable, îlot de sénescence, sol sensible au tassement, arbre remarquable...) ; la plupart figurent déjà aussi dans les documents de référence ci-dessus visés, mais la présence de l'enjeu doit être précisée à l'intervenant.
- **particulière**, si elle est applicable au cas par cas, selon les enjeux locaux et les caractéristiques de la coupe (bois sur pied) ou du chantier (bois façonnés ou travaux sylvicoles).

Elle est intégrée dans un marché de travaux ou de services forestiers ou dans un contrat (vente de bois sur pied, chasse, concession...) sous forme de **clause**. » (Office National des Forêts, 2018).

1.1.4.3. *Le cas du Circaète*

Le Circaète est considéré comme une espèce « remarquable » au sein de l'ONF, et fait donc l'objet d'une attention particulière (Lavandier G., com. pers.)

Un groupe spécifique lui est dédié au sein du réseau avifaune dans l'objectif d'améliorer les relations et la collaboration entre les naturalistes et l'ONF ainsi que de veiller en interne à la prise en compte de l'espèce. Les membres de ce groupe sont répartis sur le territoire national (Géraud LAVANDIER – référent du groupe – 04 ; Vincent BOISSONNEAU – 85 ; Francis CHIONO – 21 ; Marc FOURNIER – 40 ; Didier HACQUEMAND – 41 ; Pascal DENIS – Responsable du réseau avifaune – 68).

La protection de l'espèce à l'ONF relève du cadre réglementaire explicité plus haut ainsi que de l'engagement ISO 140001. A ce titre-là, les exigences de l'ONF quant à la protection du Circaète sont : (Office National des Forêts, 9200-13-GUI-SAM-051 version B)

- « Respecter l'interdiction d'enlever ou de détruire des œufs ou nids, de mutiler, détruire, capturer, enlever, transporter, perturber intentionnellement, détenir, mettre en vente, vendre, acheter des animaux protégés ou demander une dérogation » ;
- « Respecter l'interdiction de détruire, altérer ou dégrader les habitats naturels (sites de reproduction, aires de repos des animaux, éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de ces espèces) ou demander une dérogation » ;

¹ Le règlement national d'exploitation forestière (RNEF) et le règlement national des travaux et services forestiers (RNTSF) ont été remplacés par le cahier national des prescriptions d'exploitation forestière (CNPEF) et le cahier national des prescriptions des travaux et services forestiers (CNPTSF).

- « Etablir un calendrier et un mode opératoire des coupes et travaux évitant tout dérangement des espèces rares ou protégées dans les périodes sensibles de leur cycle vital. Respecter la reproduction ou les périodes sensibles de certaines espèces (oiseaux, batraciens, mammifères, flore remarquable) dans la programmation de certains travaux dans les zones qui leur sont favorables » ;
- « Conserver les arbres porteurs d'aires » ;
- « Assurer l'équilibre des classes d'âge à l'échelle du massif, le maintien d'arbres vieux ou très gros dans la trame des arbres à haute valeur biologique et la création d'îlots de vieillissement » ;
- « Conserver une offre en gros bois suffisante à l'échelle du massif ».

De ces exigences découle la **prescription nationale « Circaète » qui interdit toute intervention du 1^{er} mars au 15 septembre sur un rayon de 300m autour du nid**, avec la possibilité de lever l'interdiction au 30 avril en cas d'absence de nidification² (Office National des Forêts, 9200-13-GUI-SAM-052 version D). **Cette prescription ne s'applique que si l'emplacement de l'aire occupée est connu.**

Cette prescription peut tout de même être mise en œuvre de manière variable sur le territoire pour tenir compte des spécificités locales. Par exemple, la période de quiétude peut être raccourci dans certains cas pour s'adapter aux particularités locales comme des sols sensibles au tassement. Dans la plupart des cas, il n'y a pas ou peu de prélèvement environ 50m autour de l'arbre portant l'aire occupée, les arbres porteurs d'une aire occupée sont conservés. Il est recommandé de conserver des masques visuels afin de ne pas mettre en l'aire bien en vue (Parc National des Cévennes, 2004 ; Lavandier G., com. pers.).

En Vendée, où le Circaète est rare (8 couples connus actuellement), le choix a été fait de placer les sites de reproduction en îlots de sénescence en plus de la mise en place d'une zone de quiétude autour de l'aire en période de nidification de l'espèce, ce qui n'est pas le cas ailleurs (Boissonneau V., com. pers.).

1.2. Présentation et objectif de l'étude

Ce travail est l'objet d'un stage de fin d'étude d'ingénieur en agronomie, avec une spécialisation en gestion forestière. Il est commandité par le réseau Avifaune rattaché à la Direction Forêt et Risques Naturels de l'ONF. L'encadrement au sein de l'ONF est assuré par Géraud LAVANDIER, référent du groupe « Circaète » pour le réseau Avifaune. Le stage, d'une durée de 6 mois, a lieu à Digne-les-Bains dans les Alpes de Haute-Provence. Ainsi, bien que l'étude soit menée sur l'ensemble de la zone de présence du Circaète en France, les Alpes de Haute-Provence occupent une place centrale, l'accès aux données nécessaires à l'étude en étant facilité.

L'objectif est d'améliorer la prise en compte du Circaète dans la gestion forestière. L'étude est guidée par deux axes principaux.

Le premier consiste à évaluer les mesures mises en place pour préserver la reproduction de l'espèce afin de mettre en avant des pistes d'évolutions de la prescription pour une meilleure protection de l'espèce sans gênes majeures pour la gestion forestière. Pour cela, deux méthodes ont été envisagées, l'une

² Des évolutions des documents de cadrage nationaux et des prescriptions environnementales, y compris celle concernant le Circaète, ont eu lieu pendant le stage. Ainsi les documents internes utilisés précédemment sont obsolètes. Trois évolutions sont à signaler quant à la prescription « Circaète », la première étant la possibilité d'appliquer cette dernière sur l'ensemble de l'unité de gestion où se trouve le nid qui n'était qu'une proposition en discussion jusqu'alors. La seconde concerne le périmètre de quiétude abaissé à 200m. Enfin, la fin de la période de quiétude a été ramenée au 31 août au sein du Parc National des Cévennes mais reste au 15 septembre partout ailleurs. Toute la suite du rapport ne tient pas compte de ces décisions, dont j'ai été informé en fin de rédaction du présent travail.

consistant à étudier les suivis de reproduction de l'espèce en lien avec l'historique sylvicole du site de nidification afin de mettre en avant si les mesures actuelles permettent de protéger la reproduction du Circaète en cas d'intervention sylvicole. L'autre est une enquête auprès de naturalistes et de forestiers visant à recueillir leur avis et leurs idées quant à la préservation de l'espèce.

Le second axe a pour but d'identifier les caractéristiques paysagères principales des sites de nidification du Circaète uniquement à partir de données cartographiques disponibles facilement afin d'être en capacité de modéliser son habitat de reproduction, puis de pouvoir localiser des secteurs favorables avant l'installation d'un couple et d'en préserver ses caractéristiques.

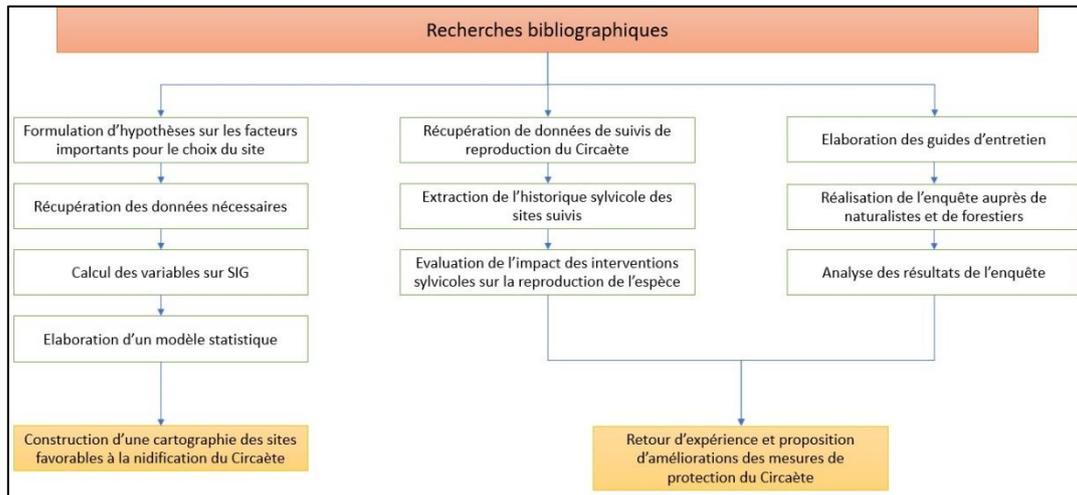


Figure 2 : Démarche générale du stage

La Figure 2 présente la démarche suivie pendant le stage, à l'issue duquel sont attendus une cartographie des sites favorables à la nidification du Circaète ainsi qu'un retour d'expérience sur les mesures de protection de la reproduction et des propositions d'améliorations si cela s'avère nécessaire.

1.3. Biologie du Circaète

1.3.1. Chronologie de la reproduction

Les populations européennes de Circaète sont migratrices et **hivernent en Afrique** dans la région Nord Tropicale, au Sud du Sahara. Les Circaètes de l'Europe de l'Ouest rejoignent l'Afrique en passant par les Pyrénées et le détroit de Gibraltar (Joubert B., 2001 ; Génsbøl B, 2004).

Au printemps, les individus nicheurs (au moins 3 ans) regagnent leur site de nidification au cours du mois de mars. **Au Sud du pays, la plupart des retours se font les deux premières décades de mars. Fin mars les oiseaux ont atteint les lieux de reproduction de la partie Nord de la France** (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). Les dates de retour d'un couple sur son site de nidification sont relativement fixes et ne varient que de quelques jours d'une année à l'autre (Joubert B., 2001). Les individus immatures passent plus tard, fin avril et début mai. Ils sont erratiques, certains reviennent sur leur lieu de naissance, certains s'arrêtent en Espagne ou au Portugal ou vadrouillent en France ou en Italie. D'autres ne franchissent pas le détroit de Gibraltar et restent au Maghreb ou sur leur lieu d'hivernage (Malafosse J.-P., 2014).

Les Circaètes semblent extrêmement fidèles à leur partenaire ainsi qu'à leur site de nidification, bien qu'ils changent fréquemment d'aire (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). **Dès leur retour, les Circaètes s'attachent à la préparation du nid**, en rénovant une ancienne aire ou en construisant une nouvelle. La plupart des nids sont opérationnels trois ou quatre semaines après le retour des oiseaux (Joubert B., 2001). La période de cantonnement est également le moment du rapprochement des partenaires et de réappropriation des lieux. Les parades nuptiales sont peu développées chez cette espèce. Le couple passe cependant de long moment à voler côte à côte au-dessus

de leur territoire de façon à montrer leur présence sur ces lieux. La présence d'oiseaux d'une autre espèce à proximité du nid est bien tolérée, en revanche tout autre Circaète sera rapidement chassé des lieux, généralement par le mâle, qui adopte une posture particulière évoquant un vautour (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). L'accouplement ne peut avoir lieu qu'une fois que la méfiance entre les deux partenaires est levée. Le rapprochement est d'autant plus rapide que le couple est âgé. Chez les nouveaux couples la méfiance est telle qu'elle peut aboutir à une abstention de reproduction la première année (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014).

Le Circaète pond un unique œuf. Les dates de pontes varient d'une région à l'autre ainsi que d'un couple à l'autre, mais semble être fixe (à quelques jours près) pour un couple donné. **La ponte a généralement lieu au cours des deux premières décades d'avril.** Les pontes les plus précoces ont lieu fin mars, tandis que les plus tardives sont observées fin mai. Ces pontes tardives sont souvent issues de jeunes femelles. Il peut également s'agir d'une ponte de remplacement suite à un échec précoce, cependant cela semble rare (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). L'incubation dure 45 à 48 jours et le taux d'éclosion est de 60 à 90%. Après l'éclosion le poussin est gardé en permanence pendant encore trois à quatre semaines. Au cours de cette période, la femelle est au nid quasiment en permanence pour assurer la couvaison puis la protection du jeune. Le mâle est chargé de l'apport de nourriture. Si les conditions météorologiques sont médiocres au cours de cette période, le mâle risque de ne pas trouver suffisamment de proies pour deux puis trois, la femelle peut alors être amenée à partir en quête de nourriture laissant donc l'œuf ou le poussin seul (les Circaètes peuvent jeûner pendant une semaine). L'œuf ou le poussin risque alors d'être prédaté, notamment par des Corvidés ou une Martre ou de mourir de froid. En cas de vent fort, l'aire peut également tomber, détruisant l'œuf ou tuant le poussin (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014).

À partir de l'âge de trois semaines ou un mois, le jeune est laissé seul de plus en plus souvent. **L'envol à lieu mi-août, 70 à 80 jours après l'éclosion.** Le succès de reproduction varie fortement d'une région à l'autre et d'une année à l'autre, les moyennes régionales sont comprises entre 50 et 75 % (Joubert B., 2001). Au cours des premiers jours suivant l'envol, le jeune reste à proximité du nid. L'apprentissage s'effectue par imitation. Le jeune suit un adulte, observant et répétant ce qu'il fait. Le jeune devient autonome au cours de la première quinzaine de septembre (Joubert B., 2001).

La migration post-nuptiale est plus diffuse que la migration pré-nuptiale. Les cols pyrénéens sont franchis par des Circaètes pendant 3 mois, de début août à fin octobre. Les jeunes n'accompagnent pas leurs parents, ils partent plus tard. En effet, le passage des adultes est observé de fin juillet à mi-octobre, de mi-août à fin octobre en ce qui concerne les jeunes. La moitié des effectifs (pour les adultes comme pour les jeunes) passe avant le 23 septembre (Joubert B., 2001). **Les adultes ayant réussi à mener leur jeune à l'envol ne quitteraient pas le site de reproduction avant mi-septembre** (Malafosse J.-P., 2014).

1.3.2.Habitat

Le territoire (« zone défendue activement contre toute intrusion de congénères étrangers au couple », Joubert B.) ne représente que quelques hectares autour de l'aire. En revanche, la surface du domaine vital (« zone où s'exercent toutes les activités de l'oiseau pendant sa période de présence chez nous », Joubert B.) varie fortement selon les régions (Joubert B., 2001).

Pour se reproduire le Circaète a besoin d'une zone forestière calme de mars à septembre, et abritée des vents dominants. Le type de milieu occupé est très variable selon les régions, en France comme sur l'ensemble de son aire de répartition (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). Le Circaète peut nicher dans une futaie de Pins (Arnaud C., com. pers.), un bouquet de pins au milieu d'un taillis de Chênes (Boissonneau V., com. pers.) ou au milieu de la garrigue (Malafosse J.-P., 2014). Le Circaète est extrêmement fidèle à son site de nidification, mais change fréquemment d'aire au sein de celui-ci (Alusse I., 1995 ; Joubert B., 2001).

Le Pin sylvestre ressort comme l'arbre le plus utilisé par le Circaète pour construire son aire (Joubert B., 2001 ; CRPF Bourgoigne, 2011 ; Nadal R., 2017, Alusse I., 1995). Cependant d'autres

essences peuvent être choisies, tels que le Pin d'Alep et le Chêne vert en zone méditerranéenne. De manière plus anecdotique des aires sont trouvées sur Cèdre de l'Atlas, Pin noir, Pin maritime et laricio, Sapin pectiné ou Epicéa commun (Arnaud C., Malafosse J.-P., Boissonneau V., com. pers. ; Alusse I., 1995 ; Joubert B., 2001). L'aire est généralement située au sommet d'un pin tabulaire ou en bout d'une grosse branche latérale dégagée (Joubert B., 2001 ; Nadal R., 2017). **L'arbre porteur de l'aire est rarement isolé, et plutôt âgé** (Alusse I., 1995). En forêt de plaine, les arbres porteurs d'aire semblent moins haut avec un houppier plus bas, mais un diamètre plus élevé que les arbres non porteurs (Thurel J., Grenet A., 2011).

La position de l'arbre porteur au sein du versant semble varier selon les régions, en Haute-Loire l'arbre est souvent dans le tiers supérieur d'un versant orienté Est ou Sud-Est (Joubert B. 2001). Dans les Cévennes, les sites de nidification sont majoritairement orientés Sud ou Sud-Est, dans le tiers supérieur de la pente également, et dans des peuplements forestiers assez denses (Alusse I., 1995). L'aire est plus fréquemment située en bas de versant dans les Alpes de Haute-Provence (Arnaud C., com. pers.).

Le Circaète doit trouver à proximité de son site de nidification des zones de chasse suffisamment riches en reptiles (serpents plus particulièrement) ainsi que des zones favorables à la formation d'ascendances aériennes lui permettant de se déplacer en limitant ses dépenses énergétiques (Joubert B., 2001). D'après Thiollay et Boudoint, **l'emplacement de l'aire serait fortement influencé par la présence de courant ascendant** (Alusse I., 1995).

1.3.3. Chasse et alimentation

Le Circaète chasse principalement en milieux ouverts ou rocailleux. En période de reproduction (donc la période de présence en France), **son alimentation est composée de 87 à 100 % de reptiles**, dont 70 à 96% de serpents (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014). Les Mammifères, Amphibiens et Oiseaux représentent moins de 5% de l'alimentation du Circaète et sont souvent capturés en début de saison lorsque les reptiles ne sont pas encore très actifs (Parc National des Cévennes, 2004). On estime qu'un couple réussissant sa reproduction et menant son jeune à l'envol consomme 800 à 900 proies, dont 600 à 800 serpents au cours de cette période (Joubert B., 2001 ; Malafosse J.-P., 2014).

L'alimentation du couple et de son jeune est généralement basée sur 2 à 4 espèces principales suivant les espèces présentes. Les espèces les plus capturées sont (Bruno S. & Perco F., 1980 ; Joubert B., 2001) :

- Couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*) : présente dans des biotopes arides, chauds et ouverts (maquis, landes, lisières forêts, aussi les vergers), et en montagne jusqu'à 2000m. Elle est absente du pourtour méditerranéen et quart Nord du pays (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Couleuvre helvétique (*Natrix helvetica*) : vit dans des biotopes humides, bois clairs ou pâtures, jusqu'à 2300m dans le Sud. Elle est présente sur l'ensemble de la France métropolitaine (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) : affectionnant les biotopes forestiers légèrement humides, chauds, vallonnés ou rocailleux, présentant une végétation abondante mais un sol dénudé. Elle est absente du Bassin Aquitain et du Nord-Est de la France (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Couleuvre de Montpellier (*Malpolon monspessulanus*) : occupe les biotopes méditerranéens (garrigues, dunes, marais salants, pentes rocailleuses) (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Couleuvre vipérine (*Natrix maura*) : inféodée aux milieux aquatiques (mares, canaux, lacs, rivières, marais côtiers, salins). Elle est présente jusqu'au Nord de la vallée Ligérienne et est absente dans les Alpes (Spreybroeck J. & al, 2018).

- Vipère aspic (*Vipera aspis*) : présente dans les biotopes arides, surtout des pentes rocailleuses présentant une faible couverture végétale, ainsi que des terrains montagneux humides. Elle est absente du quart Nord de la France et de la basse Provence (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Lézard ocellé (*Timon lepidus*) : vit dans des habitats relativement arides, avec gros rochers et buissons (maquis, oliveraies, forêts claires). Il est présent sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, la vallée du Rhône, les Landes et l'Ouest du Massif central (Spreybroeck J. & al, 2018).
- Lézard à deux raies (*Lacerta bilineata*) : occupe une grande variété d'habitats sur l'ensemble de la France métropolitaine (Spreybroeck J. & al, 2018).

Dans les Cévennes, il est constaté qu'une espèce peut largement dominer les autres (Malafosse J.-P., 2014) :

- Couleuvre de Montpellier en zone méditerranéenne,
- Couleuvre verte et jaune en zone atlantique.

Les zones de chasse du Circaète peuvent se trouver à plusieurs kilomètres autour de l'aire. **Le mâle parcourt souvent plus de 10km pour aller chasser** (Malafosse J.-P., 2014). Un suivi télémétrique réalisé en Israël a mis en évidence une distance moyenne d'environ 13km, avec parfois plus de 40km pour certains individus (Friedemann G., 2016).

1.4. Éléments importants à retenir pour l'étude

Le Circaète est une espèce en expansion en France, présent dans les deux tiers Sud du pays, il n'est actuellement pas menacé.

La prescription « Circaète » a pour but de protéger la reproduction de l'espèce durant une intervention, coupe ou travaux forestiers. De l'activation d'une prescription découle la mise en place d'une période de quiétude de mars à septembre environ 300m autour de l'aire utilisée. La Figure 3 présente de manière résumée le déroulement de la saison de reproduction du Circaète, ainsi que sa sensibilité au dérangement au cours de celle-ci.

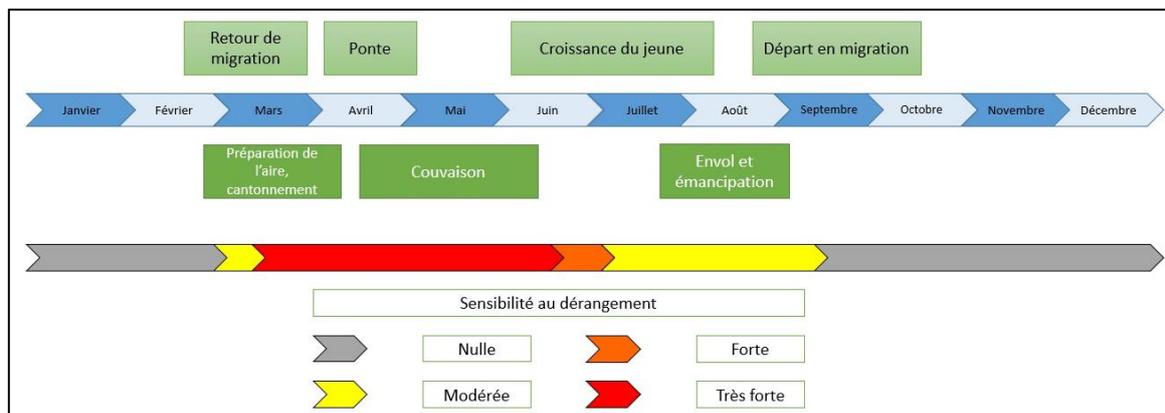


Figure 3 : Chronologie de la reproduction du Circaète et sensibilité au dérangement, adaptée de (Joubert B., 2007)

Concernant l'habitat du Circaète, il niche en forêt, mais le type de peuplement occupé est très variable d'une région à l'autre, et chasse en milieu ouvert à la recherche de serpents. Son territoire est peu étendu, mais l'oiseau parcourt souvent plus de 10km pour se rendre sur ses zones de chasse. Les éléments semblant importants pour la localisation du site de nidification sont le calme, la présence d'arbres, la proximité avec des zones de chasse à proximité, l'abri vis-à-vis du vent dominant et la présence de courants ascendants.

Toutes ces informations sont à la base du travail présenté dans la suite de ce rapport.

2. Etude de l'efficacité des mesures de protection mises en place lors de l'activation d'une prescription Circaète

Le travail réalisé ici vise à faire un retour d'expérience sur les mesures mises en place par l'ONF pour répondre à la nécessité de protection du Circaète. Un travail a été mené en forêt d'Orléans, de 2007 à 2011, pour étudier l'impact de la modification de l'habitat sur la reproduction de l'Aigle botté et du Circaète. Cela n'avait pas pu aboutir à un résultat concernant le Circaète par manque de données. Cependant, concernant l'Aigle botté, aucun effet significatif des coupes de bois sur la performance de reproduction n'a pu être décelé durant cette étude. Toutes les coupes avaient fait l'objet d'une zone de quiétude de 300m autour du nid de mars à septembre (Thurel J., Grenet A., 2011), ainsi cette mesure semble suffisante pour protéger la reproduction de l'Aigle botté. La méthode utilisée est une comparaison du bilan de reproduction entre des couples pour lesquelles une coupe a eu lieu entre 2005 et 2011, et des couples pour lesquelles aucune intervention n'a été réalisée.

Le but ici est de savoir si ces mesures sont efficaces pour sauvegarder la reproduction du Circaète et identifier des pistes d'amélioration. L'efficacité d'une mesure de protection repose sur deux aspects essentiels :

- la faculté de la mesure à sauvegarder l'enjeu (ou les enjeux) visé(s),
- l'effectivité de sa mise en place.

En effet, une mesure de protection ne peut pas être efficace si elle n'est pas mise en place pour quelque raison que ce soit (manque de connaissance, refus, impossibilité, etc.). En vue de prendre en compte ces deux aspects, le travail a été divisé en deux parties :

- mettre en relation des données de suivis de reproduction du Circaète avec l'historique de sylviculture autour du site de reproduction des couples suivis, afin de voir si la mise en œuvre des prescriptions est suffisante ou non pour sauvegarder la reproduction de l'espèce en cas d'intervention sylvicole ;
- réaliser une enquête basée sur des entretiens semi-directifs auprès de naturalistes et de forestiers afin d'identifier d'éventuels points de blocage quant à la mise en œuvre des prescriptions, et mettre en avant des pistes d'améliorations.

2.1. Mise en relation des données de suivi de sites de reproduction avec leur historique de sylviculture

2.1.1. Objectifs et méthode

Afin d'évaluer la capacité des mesures de protection appliquées suite à l'activation de la prescription « Circaète » en cas d'intervention sur un site de nidification de l'espèce, le but est d'étudier les impacts des interventions sylvicoles sur la reproduction du Circaète les années suivant l'intervention. Pour cela, trois éléments du suivi de la reproduction ont été sélectionnés :

- le retour du couple sur le site après la migration,
- le succès de la reproduction,
- les changements d'aires au sein du site.

L'absence du couple sur son site de reproduction peut être dû à une mortalité au cours de la migration ou de l'hivernage, cependant ceci est indépendant de l'exploitation forestière autour de son site de nidification. On considère donc que cela affecte de manière similaire la présence du couple avant et après intervention.

Si les mesures sont efficaces peu de différence devraient être visibles en comparant les résultats de suivi avant et après intervention, a minima sur la présence du couple ainsi que son succès de

reproduction. Que le couple change d'aire au sein d'un même site n'est pas réellement un problème si la reproduction est un succès, le but des mesures étant de protéger la nidification de l'espèce.

2.1.1.1. Choix des zones d'étude

Deux secteurs géographiques ont été retenus pour ce travail en raison du suivi important qui y est réalisé sur le Circaète et de la présence de forêts publiques :

- les Alpes de Haute-Provence, à partir des données de suivis réalisés par Cédric Arnaud sur 33 couples (globalement à partir de 2014),
- le Parc National des Cévennes, à partir de données de suivis réalisés par Jean-Pierre Malafosse sur 26 couples (globalement à partir de 2000).

2.1.1.2. Délimitation des sites de reproduction

La première étape a consisté à définir le site de reproduction de chaque couple. Pour cela, deux méthodes différentes ont été utilisées entre les deux secteurs étudiés.

Pour les Alpes de Haute-Provence, un fichier contenant le tracé des périmètres de protection potentiels proposés par Cédric Arnaud était à disposition. Les différents nids d'un même couple sont englobés dans le même périmètre. Ces périmètres ne sont pas les périmètres de quiétude appliqués par l'ONF qui visent à protéger l'aire utilisée l'année de l'intervention. Le site de reproduction a donc été ici assimilé à ces périmètres.

Pour les Cévennes, n'ayant pas de fichier du même type que précédemment, les sites ont été délimités de manière automatique sur SIG. Un cercle tampon de 500m de rayon autour de chaque aire connue a été tracé. Pour chaque couple, tous les cercles ont été fusionnés de sorte à n'obtenir qu'une seule zone par couple, ce sont ces zones qui ont été assimilées au site de reproduction.

La méthode utilisée pour les Cévennes est simple et rapide à mettre en œuvre, mais ne tient pas compte des éléments du paysage, notamment du relief ce qui n'est pas optimal car il est connu et reconnu par les naturalistes que le Circaète est principalement sensible au dérangement visuel. Une autre méthode de tracé a été testée, en utilisant des algorithmes de calcul du plugin « Visibility Analysis » de QGIS à partir d'un MNT. Pour chaque site, l'idée était de sélectionner les zones visibles depuis une certaine hauteur au-dessus du sol au niveau du point localisant le site. La hauteur était de 15m, ce qui est plus haut que la hauteur moyenne d'une aire de Circaète observée dans le Parc National des Cévennes qui est de 10m sans pour autant être le maximum, qui est de 22m (Alusse I., 1995). Ce choix a été fait afin de se situer au-dessus de la moyenne sans pour autant être dans un cas extrême. Le but était de prendre en compte le relief du terrain en excluant du site des zones non visibles depuis le site, qui se trouvent de l'autre côté d'une crête par exemple. Cependant cela n'a pas abouti à un résultat satisfaisant, la délimitation des zones visibles était incohérente. En effet les zones visibles se trouvaient principalement en limite du site tandis que les alentours immédiats du point se trouvaient en zones non visibles. Cette piste n'a pas été approfondie faute de temps.

Un croisement avec le fichier contenant les périmètres des forêts publiques a permis de ne garder que la partie des sites qui se situent en forêt publique. Pour 9 couples (6 dans les Alpes de Haute-Provence et 3 dans les Cévennes), leur site de reproduction n'inclut pas de forêt publique et ne peuvent donc pas servir à l'étude.

2.1.1.3. Extraction des données sylvicoles

La deuxième étape a été d'extraire des bases de données actuelles de l'ONF les interventions pour lesquelles la prescription « Circaète » a été activée. Cela s'est fait à partir de requêtes sur BO (logiciel de gestion de la programmation des coupes et travaux à l'ONF).

L'utilisation de BO est récente, et tout l'historique n'est pas présent, par conséquent les données sur les interventions sont restreintes dans le temps :

- depuis 2017 pour les coupes,
- depuis 2014 pour les travaux.

Dans les Alpes de Haute-Provence, il a cependant été possible d'obtenir les prescriptions antérieures à partir de l'ancien logiciel.

La localisation des travaux n'est pas renseignée systématiquement de manière précise, par conséquent certaines données n'ont pas pu être utilisées par la suite. Cela est notamment le cas pour les travaux « linéaires » tels que l'ouverture d'une route ou d'une piste.

Les prescriptions « Circaète » sont mises en place de manière systématique depuis 2017 dans les Alpes de Haute-Provence, avant cela était très rare (11 données entre 2008 et 2016, dont 7 en 2016). Les prescriptions de 2019 et 2020 ne sont pas utilisables, car les données de suivis des années suivantes n'existent pas encore.

Dans le Parc National des Cévennes, les périmètres de quiétude sont mis en place depuis 2005 mais aucune donnée SIG n'a été disponible concernant les coupes avant 2017.

Par conséquent, le nombre de prescriptions sur sites pour lesquels le suivi est disponible est extrêmement faible :

- Alpes de Haute-Provence : 4 couples sont concernés par une coupe, un seul par des travaux,
- Parc National des Cévennes : 4 coupes avec prescriptions ont eu lieu sur des sites suivis. Malheureusement, pour chaque site, le suivi a été arrêté avant que la coupe n'ait eu lieu. Par conséquent, aucune donnée n'est utilisable. Concernant les travaux, entre 2014 et 2018, la prescription « Circaète » n'a été activée que 2 fois, sur des sites pour lequel le suivi n'a pas été mis à disposition.

2.1.2. Analyse et résultats

Compte tenu du nombre de données évoqué précédemment, seule une analyse qualitative est possible, et son résultat ne pourra être extrapolé.

Tableau 1 : Suivi de reproduction sur 5 couples concernés par la mise en œuvre de prescriptions dans les Alpes de Haute-Provence.

Couple	Année	Présence	Succès	Réutilisation de l'aire	Intervention
BasDur05	2013	non suivi	non suivi	non suivi	Coupe
BasDur05	2014	1	1	aire inconnue	Coupe
BasDur05	2015	1	succès probable	aire inconnue	Coupe
BasDur05	2016	1	inconnu	aire inconnue	0
BasDur05	2017	1	1	1	0
BasDur05	2018	1	1	1	0
BasDur05	2019	1	1	1	0
BesBle21	2015	1	1	1	0
BesBle21	2016	1	0	0	0
BesBle21	2017	1	inconnu	1	Travaux
BesBle21	2018	1	0	0	0
BesBle21	2019	1	0	aire inconnue	0
HtVer13	2015	1	1	0	0
HtVer13	2016	1	1	0	0
HtVer13	2017	1	1	1	0
HtVer13	2018	1	0	1	Coupe
HtVer13	2019	1	1	0	Coupe
HtVer14	2015	1	1	1	0
HtVer14	2016	1	0	0	0
HtVer14	2017	1	1	1	0
HtVer14	2018	1	0	0	Coupe
HtVer14	2019	1	0	0	Coupe
Uba07	2016	1	1	0	Coupe
Uba07	2017	1	0	1	Coupe
Uba07	2018	1	1	aire inconnue	0

Dans le Tableau 1, la valeur 1 dans les colonnes « Présence », « Succès » et « Réutilisation de l'aire » signifie respectivement que :

- le couple est revenu sur le site de reproduction au printemps,
- le jeune s'est envolé,
- le couple a utilisé la même aire que l'année précédente.

La valeur 0 est la négation de la valeur 1. Si la donnée n'est pas connue cela est précisé.

Les interventions sylvicoles n'ont pas été inscrites à l'année indiquée dans la base de données à savoir la date de vente. Au vu du faible nombre de données, le choix a été fait d'essayer d'être plus précis, la coupe ayant parfois lieu plusieurs années après la vente. Les dates les plus précises qu'il a été possible de trouver dans les archives sont les dates d'obtention du permis d'exploiter et les dates de réception de fin de chantier. Les dates d'intervention s'étalent donc sur 2 à 3 ans, compliquant l'analyse.

On remarque que pour les 5 couples la présence des oiseaux n'est jamais affectée par les interventions. En ce qui concerne le succès de reproduction et la réutilisation de l'aire il est difficile de dire quoi que ce soit. Il n'est pas possible de dresser de conclusion à partir de ce résultat. Une autre approche a donc été testée.

2.2. Comparaison de suivis de reproduction en Lozère entre des zones exploitées et des zones « auto-protégées »

2.2.1. Objectif

Au sein du Parc National des Cévennes (zone cœur et aire d'adhésion) ainsi que des forêts publiques de Lozère, toute intervention sylvicole à proximité d'un site de reproduction de Circaète fait l'objet de la mise en place d'une zone de quiétude depuis 2005. Cette zone s'étend sur un périmètre de l'ordre de 300m adapté en fonction du relief et sur une période de mars à septembre, ajustée pour chaque site en fonction des dates d'arrivée et de départ des oiseaux. Ces mesures sont très proches de celles mises en place de manière courante par l'ONF, tout en étant plus fine et adaptée au cas par cas notamment sur la période de quiétude grâce à l'important suivi réalisé par Jean-Pierre Malafosse. Ce dernier a été en mesure d'identifier, parmi les 26 couples dont il a mis le suivi à disposition, les couples pour lesquels des interventions sylvicoles ont eu lieu ou non depuis 2005. Il est donc possible de comparer les trois indicateurs utilisés précédemment (Présence, Réussite et Réutilisation de l'aire) pour deux populations de Circaète (au sens statistique, pas biologique) :

- l'une composée de 13 couples nichant dans des secteurs forestiers ayant été exploités, et par conséquent où les mesures de protection ont été mises en place,
- l'autre composée de 12 couples nichant dans des secteurs dit « auto-protégés » quant à l'exploitation forestière.

Le but ici n'est plus d'étudier ce qui se passe suite à une intervention sylvicole puisque les dates d'interventions ne sont pas connues. L'approche ici est de comparer les résultats des suivis de reproduction à long terme entre des zones exploitées mais avec mise en place de mesures de protection et des zones non exploitées. Si les mesures de protection sont efficaces, les différences entre les deux populations devraient être faibles.

Il est à noter que 15 ans est un laps de temps relativement important pour le Circaète. Aucune donnée précise n'a pu être trouvée quant à son espérance de vie. Cependant le plus vieux Circaète connu en Lozère est actuellement âgé de 24 ans. Il serait le deuxième plus vieux Circaète connu en France, le premier ayant été retrouvé mort en Charente âgé de 33 ans (Malafosse J.-P., com. pers.). Il est donc facilement imaginable que 15 années représentent à minima la moitié d'une vie de Circaète.

2.2.2. Analyse statistique

Les données n'ont pas été analysées comme un ensemble de couples mais comme un ensemble de reproduction. Le nombre de données est donc relativement conséquent puisque pour la majorité des

couples au moins 10 ans de suivi sont disponibles. Au total depuis 2005, 179 reproductions sont disponibles en zones « auto-protégées » et 144 en zones exploitées.

Comme précédemment, trois variables sont étudiées : *Présence*, *Réussite* et *Réutilisation de l'aire*. Ces trois variables sont binaires, la valeur 1 signifie respectivement que :

- le couple est revenu sur le site de reproduction au printemps,
- le jeune s'est envolé,
- le couple a utilisé la même aire que l'année précédente.

Deux cas de figures ont été différenciés par la suite :

- Cas 1 : la valeur 0 est affectée uniquement lorsque l'on sait que 1 n'est pas vrai. Les données inconnues sont laissées vides et ne sont donc pas prises en compte,
- Cas 2 : la valeur 0 est affectée lorsque la valeur 1 ne l'est pas (donc même lorsque la donnée n'est pas connue).

On peut supposer que le taux de présence des oiseaux soit plus faible en zones exploitées qu'en zones « auto-protégées » du fait du dérangement. En laissant sans valeur les variables *Réussite* et *Réutilisation de l'aire* lorsque le couple est absent cela pourrait entraîner un biais en zone exploitée augmentant artificiellement les taux et masquant une différence. Dans le même temps, l'absence des oiseaux sur le site ne signifie pas qu'ils ne se sont pas reproduits (le couple a pu changer d'aire sans que celle-ci ne soit trouvée et leur présence a pu passer inaperçue). C'est pour ces raisons que les deux cas ont été étudiés.

Les variables sont binaires, et peuvent donc être considérées comme des réalisations d'une loi de Bernoulli $B(1, p)$, p étant la probabilité de succès. Pour chacune des trois variables le but est de savoir si la loi est identique entre les zones « auto-protégées » et les zones exploitées. Pour cela, comme p est le seul paramètre de la loi, il faut déterminer si l'hypothèse H_0 est vraie ou non, avec

$$H_0 : p_{\text{autoprotégées}} = p_{\text{exploitées}}$$

Pour cela, il est nécessaire de calculer la variable de test U (Équation 1).

Équation 1 : Formule de la variable de test permettant de comparer deux échantillons issus de variables suivant une loi de Bernoulli

$$U = \frac{f_1 - f_2}{\sqrt{f(1-f)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Où f_1 et f_2 sont les fréquences observées, n_1 et n_2 les effectifs pour les deux populations comparées et $f = \frac{n_1 f_1 + n_2 f_2}{n_1 + n_2}$.

Si $|U| - u_{1-\alpha/2} \geq 0$, alors H_0 est rejeté au risque α (Rakotomalala R., 2013).

Les analyses ont été réalisées au risque $\alpha = 0,05$ (5%), donc $u_{1-\alpha/2} = 1,96$.

2.2.3. Résultats

On note dans les Tableau 2 et Tableau 3 que la seule valeur positive de $|U| - 1,96$ concerne la réutilisation de l'aire dans le cas 1. Par conséquent, dans les 2 cas, aucune différence significative n'est mise en évidence quant à la présence et la réussite entre les deux « populations ». En revanche, on observe un taux de réutilisation de l'aire significativement plus faible en zones exploitées qu'en zones « auto-protégées » dans le cas 1.

Tableau 2 : Comparaison des résultats de suivi de reproduction sur 15 ans pour deux populations de Circaète dans les Cévennes pour le cas 1 (inconnus pas pris en compte)

Cas 1	Présence	Réussite	Réutilisation de l'aire
f autoprotegées	0,8927	0,5286	0,6496
f exploitées	0,8542	0,4414	0,4948
U - 1,96	-0,9216	-0,5886	0,3226

Tableau 3 : Comparaison des résultats de suivi de reproduction sur 15 ans pour deux populations de Circaète dans les Cévennes pour le cas 2 (inconnus = 0)

Cas 2	Présence	Réussite	Réutilisation de l'aire
f autoprotegées	0,8827	0,4134	0,4246
f exploitées	0,8542	0,3403	0,3333
U - 1,96	-1,2026	-0,6146	-0,2839

Il semble donc apparaître pour l'échantillon étudié – probablement extrapolable à la Lozère - que l'exploitation forestière n'impacte pas de manière significative le taux de retour sur site de nidification ou le taux de reproduction du Circaète à long terme, si des précautions sont prises. En revanche les couples changent plus fréquemment de nids. Cela peut être dû aux dérangements engendrés par les interventions ou aux modifications du milieu.

2.3. [Enquête auprès de naturalistes et de forestiers quant à leur avis sur les mesures prises par l'ONF](#)

2.3.1. Objectifs et méthode

L'objectif principal du stage est d'améliorer la conciliation entre protection du Circaète et gestion forestière. Cette conciliation ne peut avoir lieu uniquement si naturalistes et forestiers sont en mesure de s'accorder sur les objectifs à atteindre, en acceptant de faire des compromis et comprenant les contraintes de chacun. Les entretiens ont donc pour objectifs de :

- connaître la position des différentes personnes quant à la nécessité de protection du Circaète et de ses sites de nidification ;
- obtenir l'avis des personnes interrogées sur la pertinence et l'efficacité des mesures mises en place par l'ONF pour préserver la reproduction du Circaète ;
- identifier les contraintes majeures liées à la mise en place des prescriptions (conséquences sur la gestion forestière pour les forestiers, nécessité de suivi pour les naturalistes) ;
- faire émerger des stratégies alternatives, identifier des pistes d'amélioration.

Afin de répondre aux objectifs cités précédemment, trois catégories de personnes ont été interrogées :

- des naturalistes particulièrement impliqués dans le suivi de l'espèce, ayant une grande connaissance de la biologie de l'espèce ;

- des forestiers « de terrain » (Technicien Forestier Territorial, chef d'Unité Territoriale), connaissant bien leurs secteurs et les contraintes qui y sont liées, en termes de gestion forestière et de prise en compte du Circaète ;
- des référents locaux au sein du réseau « Circaète » de l'ONF ou des responsables environnements, ayant un rôle d'intermédiaire entre les naturalistes et les forestiers.

Dans le but de prendre en compte au mieux la diversité de situation pouvant exister sur l'ensemble de la zone de présence du Circaète en France, le choix des personnes interrogées a tenu compte de leur position géographique. Un total de 23 personnes a été interrogé, composé de 9 naturalistes, et 14 forestiers dont :

- 3 responsables environnement et le responsable du réseau avifaune,
- 8 techniciens forestiers territoriaux,
- 2 chefs d'Unité Territoriale.

Il est important de préciser que parmi les 14 forestiers, 6 sont également amateurs d'ornithologie, plus ou moins impliqués dans des associations. La liste des personnes ayant été interrogées figure en Annexe 1, précisant leur secteur géographique ainsi que leur implication quant au Circaète.

Compte tenu du nombre de personnes interrogés, de la distance très souvent importante ainsi que du contexte sanitaire dans lequel s'est déroulé le stage, la quasi-totalité des entretiens ont été réalisés par téléphone ou par visioconférence (2 seulement ont été conduits en face à face). Plusieurs entretiens n'ont pas pu avoir lieu car rendus impossibles par de telles conditions.

J'ai choisi de réaliser des entretiens dit « semi-directifs » afin de laisser la possibilité aux personnes interrogées de s'exprimer pleinement sur le sujet tout en ayant l'assurance d'avoir les réponses aux questions importantes pour l'étude. Pour cela, des guides d'entretien, présentés en Annexe 2, ont été réalisés dans le but de répondre aux objectifs cités précédemment. Les entretiens avec les naturalistes ont également été l'occasion d'en apprendre plus sur la biologie de l'espèce, son comportement, son habitat dans les différentes régions, etc. Cela a pu mener à des questions spécifiques en fonction de la personne interrogée ne figurant donc pas sur les guides d'entretien.

2.3.2. Analyse et résultats

Avec 23 entretiens, il est très probable d'avoir obtenu un catalogue relativement complet des avis sur les différentes questions. Cependant ce nombre est trop faible pour établir une réalité statistique, et donc quantifier le nombre de personne pour chaque avis. L'Annexe 3 présentent le tableau d'analyse des entretiens.

2.3.2.1. *Nécessité de protection de l'espèce*

Parmi les 23 personnes interrogées, 22 pensent que la protection du Circaète est une nécessité, la vingt-troisième personne (responsable environnement à l'ONF) estimant que ce n'est pas à elle de décider quelle espèce doit être protégée ou non. Il est à noter que 7 personnes (6 naturalistes et 1 forestier) précisent tout de même qu'**il doit l'être comme tous les rapaces, pas forcément plus qu'une autre espèce.**

Les justifications apportées quant à la protection de l'espèce sont variées :

- Un seul œuf pondu par an, entraînant une forte vulnérabilité et donc la possibilité de chute rapide des effectifs (2 forestiers et 2 naturalistes) ;
- Espèce remarquable, l'un des plus grands rapace, forte valeur patrimoniale, etc. (1 forestier et 3 naturalistes) ;
- Préserver l'espèce des tirs (2 naturalistes) ;
- Espèce faisant partie de la forêt, responsabilité du forestier d'y faire attention (5 forestiers) ;
- Espèce parapluie (2 naturalistes).

2.3.2.2. *Pertinence des mesures, satisfaction*

Les naturalistes s'accordent à dire que les Circaètes sont particulièrement sensibles au dérangement durant la période de cantonnement, la couvaison et les 3-4 premières semaines après l'éclosion, c'est-à-dire environ de mars à mi-juin. La sensibilité est moindre jusqu'en septembre. Tous les forestiers avaient une idée plus ou moins précise de la période sensible :

- Printemps (2),
- De mars à septembre (3),
- Même réponse que les naturalistes (9).

Les périodes de quiétudes mises en place par l'ONF (généralement du 1^{er} ou 15 mars jusqu'au 31 août ou 15 septembre) semblent donc être adéquates, au moins dans une grande majorité de cas.

En revanche, les zones de quiétudes sont plus discutées. Pour 18 personnes il est impossible de donner de réponse précise quant à la distance à maintenir calme, et donc de fixer arbitrairement un rayon. **La zone de quiétude ne peut pas être un cercle, elle dépend beaucoup de la topographie et de la présence de masques visuels (8 forestiers et 8 naturalistes).** Elle dépend également des individus, de leurs habitudes (2 naturalistes), mais cela est difficilement prévisible. **Le minimum évoqué fréquemment lorsqu'une réponse est tout de même donnée est de 300m** (4 naturalistes et 1 forestier). **Cependant, dans des régions avec peu de relief, un rayon de 150 à 200m semble suffisant** (4 forestiers et 1 naturaliste).

Concernant la satisfaction globale quant aux mesures, les naturalistes sont très partagés : 3 ne sont pas satisfait car les mesures n'empêchent pas la destruction ou l'altération du site de reproduction, 4 estiment que c'est bien mais 2 précisent que ça pourrait être mieux (zone de quiétude trop réduite pour l'une et encore des personnes pas assez soucieuses pour l'autre) et 2 ne sont pas concernés (pas de forêt publique ou zones non exploitées).

En ce qui concerne les forestiers, 9 estiment que les mesures sont satisfaisantes. Parmi les 5 autres personnes, l'une d'elle n'a pas d'avis (les Circaètes nichant dans des zones pour la plupart inaccessible et hors sylviculture), une estime que les mesures manquent de précision en ce qui concerne les masques visuels et sur ce qui peut être fait sur le site hors période de quiétude pour préserver le site. Deux personnes estiment que la théorie est bien, mais qu'il faudrait les moyens de mettre les mesures en pratique, notamment concernant l'accès aux données. Le responsable du réseau avifaune pense que les mesures ont besoin d'être simplifiées et harmonisées par rapport aux différentes espèces, mais également géographiquement, ce qui ne semble pas être l'avis du personnel de terrain.

2.3.2.3. *Contraintes pour la gestion forestière*

Du point de vue des naturalistes, la prise en compte du Circaète pose deux problèmes pour l'ONF :

- La modification du calendrier d'intervention (6 personnes), 3 personnes précisent que cette contrainte est fortement réduite si la prise en compte de l'espèce se fait bien en amont. 3 personnes précisent également que cela peut devenir vraiment problématique si d'autres enjeux contraignent la date d'intervention (neige, sol sensible, autres espèces, etc.).
- Laisser des arbres ou des zones non coupés implique des pertes financières (5 personnes).

Beaucoup de forestiers évoquent effectivement la modification du calendrier comme une contrainte (11 personnes) cependant cela est plus ou moins nuancé selon le contexte. Trois d'entre eux disent que ça peut devenir très compliqué lorsque d'autres enjeux contraignent les dates d'interventions, notamment la neige en montagne ou l'impossibilité d'intervenir en forêt durant l'été en zone à risque d'incendie. **Les 11 personnes soulignent également que c'est plus simple lorsque l'information est connue en amont, lors de l'aménagement notamment.** Pour 2 personnes le Circaète ne présente aucune contrainte, dans les Hautes-Alpes en raison de l'inaccessibilité de la quasi-totalité des forêts où niche le Circaète, et dans une UT des Landes, car l'ensemble des peuplements accueillant

un couple de Circaète sont des peuplements porte-graines, n'étant donc pas exploité avant le mois d'octobre.

2.3.2.4. *Contrainte en termes de suivi pour les naturalistes*

Les naturalistes sont tous du même avis, **le suivi du Circaète est compliqué et demande beaucoup de temps. Il est réalisé bénévolement, avec peu de moyens humains, il n'est donc pas possible de tout faire.** Certains naturalistes cherchent à connaître le plus de couples possibles afin qu'ils puissent être pris en compte et protégés, d'autres cherchent à avoir un suivi très précis de la reproduction sur un nombre de couples plus réduit. Trouver l'emplacement de l'aire est également compliqué, d'autant plus en absence de relief, et donc de point de vue.

2.3.2.5. *Evolutions envisagées par le réseau avifaune*

Deux pistes d'évolutions avaient été avancées par le réseau avifaune, une clause « rapaces » unique, et l'application de cette clause sur l'ensemble des Unités de Gestion³ (UG) à moins de 200m de l'aire occupée.

La plupart des personnes interrogées ne sont pas favorables à la mise en place d'une clause « rapaces » unique car toutes les espèces n'ont pas la même biologie, le même comportement ni les mêmes dates de reproduction. Les 4 personnes n'étant pas opposées à cette idée sont des forestiers, 2 travaillant au sein de la Direction Territoriale Centre-Ouest-Aquitaine où les rapaces font déjà l'objet d'une clause unique, applicable car le nombre d'espèces est assez faible, et présentant des dates de reproduction proche. Les 2 autres personnes estiment que cela serait plus simple pour le personnel de terrain.

Concernant l'application de la clause sur l'UG, la plupart des personnes interrogées (10 sur 14, la question n'ayant pas été posée aux naturalistes) sont sceptiques quant à cette mesure, notamment quant à la surface concernée d'autant plus importante lorsque plusieurs UG seraient concernées. **Ces personnes ne sont pas farouchement opposées à l'idée, mais n'en voient pas l'intérêt,** sauf une qui précise qu'administrativement ça serait plus simple. Une personne n'a pas d'avis sur le sujet, car le Circaète niche dans des zones hors-sylviculture. Une personne est opposée à cette idée, car localement (Bouches du Rhône et Var) en cas de présence de Circaète l'intervention est réalisée en priorité au sein de la zone de quiétude avant l'arrivée des oiseaux de sorte que l'exploitation continue, sans interruption, après l'arrivée des Circaètes mais hors de la zone de quiétude. Ce fonctionnement serait rendu impossible si la clause est appliquée sur l'ensemble des UG.

Les deux dernières personnes interrogées sont à l'origine de cette proposition. Leurs arguments sont les suivants :

- Faciliter le suivi de la coupe pour l'agent,
- Simplifier la gestion, car le découpage théorique est déjà existant (pas besoin de tracer une zone de quiétude), correspondant à une certaine réalité de terrain (donc identifiable plus facilement),
- Eviter d'indiquer le site de nidification d'une espèce sensible (l'idée n'est pas exclusive au Circaète),
- Réaliser l'ensemble de l'intervention en une seule fois,
- Fonctionnement déjà en place en Franche-Comté depuis longtemps et qui ne pose pas de problème.

2.3.2.6. *Attentes et propositions*

Au-delà des propositions qui font déjà partie des prescriptions telles que laisser plus d'arbres vieux ou morts, maintenir des masques visuels, préserver les arbres porteurs d'aire et l'environnement immédiat, le souhait d'une protection plus importante est récurrent :

- Des sites de reproduction de l'espèce, par la mise en place de zone hors sylviculture (4 naturalistes, 1 forestier),

³ Une unité de gestion est une zone définie lors de la rédaction du plan d'aménagement, sur laquelle la gestion forestière à mener durant la période de validé du document est semblable sur l'ensemble de la surface

- De la biodiversité de manière globale, avec l'interdiction d'exploiter la forêt au printemps par exemple (3 forestiers, 2 naturalistes).

Il a également été question de favoriser une protection « habitat » plutôt qu'« espèce » en faisant en sorte que le Circaète trouve toujours des secteurs favorables à sa nidification même si certains des sites actuellement utilisés sont détruits, en veillant à rendre ces sites réutilisables le plus rapidement possible (1 forestier, 1 naturaliste).

De plus, les forestiers ont des attentes plus ou moins importantes selon les secteurs en termes de suivi et de communication des données. C'est le principal manque et la source de la majorité des problèmes (9 forestiers, 2 naturalistes). **Naturalistes comme forestiers aimeraient que la communication entre eux soit meilleure** : ils essaient d'être en contact, de communiquer, sans que cela soit toujours évident. Cela se résume souvent à un mail ou une rencontre par hasard en forêt (7 naturalistes, 9 forestiers).

Certains estiment que l'ONF devrait se donner les moyens d'aider les naturalistes, pour contrôler des sites connus, par exemple en impliquant les TFT concernés par la nidification du Circaète, ou via le réseau avifaune (2 forestiers).

Il a également été proposé de favoriser les réseaux locaux, et qu'il y ait un correspondant naturaliste, une personne « ressource » pour l'ONF clairement identifiée, à l'image de ce qui est fait dans les Alpes de Hautes-Provence ou les Hautes Alpes (2 naturalistes, 1 forestier).

Il pourrait aussi être envisageable que l'ONF communique aux naturalistes les parcelles qui passeront en coupe prochainement afin d'orienter les recherches d'aires sur ces zones en priorité, ce qui est fait actuellement dans le Parc National des Cévennes et le Lubéron (1 naturaliste et 1 forestier).

2.4. Bilan de l'étude

Le travail mené ici a permis de montrer que les mesures de protection mises en place par l'ONF au sein du Parc National des Cévennes semblent suffisantes pour préserver la reproduction de l'espèce à long terme. Cette conclusion n'est pour l'heure pas extrapolable et ceci principalement pour deux raisons :

- l'important suivi de Jean-Pierre MALAFOSSE permettant de connaître les sites de nidifications ainsi que l'avancement de la reproduction au cours de la saison de manière relativement précise,
- la coopération entre le Parc National de Cévennes et l'ONF permettant de bien prendre en compte l'espèce dans la gestion forestière.

Cela rejoint le résultat de l'enquête, à savoir que les mesures de protection semblent globalement satisfaisantes pour préserver la reproduction du Circaète, mais que les gros manques se situent sur la connaissance des sites, la nécessité de suivi et le besoin de collaboration et de confiance entre naturalistes et forestiers.

Il est apparu suite à l'enquête que les forestiers sont en grande majorité enclins à protéger l'espèce et que les prescriptions ne posent pas de problèmes majeurs pour la gestion. Cependant, ceci est à nuancer. En effet, les forestiers interrogés ont pour la plupart des convictions environnementales marquées, voire très marquées, ce qui peut être à l'origine d'un biais important. Certaines personnes sollicitées pour un entretien n'ont pas répondu, les raisons peuvent être diverses et variées. Le manque d'intérêt pour le sujet peut être l'une d'entre-elles.

Le manque d'intérêt présenté par les forestiers pour les possibles évolutions des mesures peut s'expliquer par le fait qu'ils estiment que les mesures actuelles sont satisfaisantes sans pour autant avoir tous les moyens de les mettre en œuvre faute de suivi. D'autres pistes d'évolution ont été proposées par les personnes interrogées, mais feront l'objet d'une discussion plus en avant dans ce rapport.

L'enquête n'a visé que des naturalistes, des forestiers « de terrain » (TFT, RUT) et des forestiers ayant un rôle de conciliation des enjeux environnementaux avec la gestion forestière. Il serait souhaitable d'élargir l'enquête, au sein de l'ONF auprès des services de commercialisation et de direction, mais surtout auprès des exploitants forestiers qui sont probablement les personnes les plus concernées par les mesures de protections et les modifications de calendrier qui en découlent.

3. Caractérisation paysagère des sites de nidification du Circaète

Le travail mené ici vise à caractériser l'emplacement des sites de reproduction de l'espèce au sein de leur environnement à partir de données cartographiques, uniquement depuis le bureau.

Il est important de ne pas confondre le nid occupé à l'année n avec le site de reproduction, englobant les différentes aires utilisées par un même couple. J'assimile ici le site de reproduction au territoire du couple selon la définition de Bernard Joubert citée précédemment (1.3.2.) selon laquelle le territoire est la zone activement défendue par le couple.

L'emplacement de l'aire et son environnement immédiat (50-100m) ont déjà été étudiés à plusieurs reprises ; le but ici est de travailler à une échelle plus large pour essayer de comprendre le choix du site de reproduction et non le choix de l'emplacement du nid. Si cela aboutit, il serait alors possible de connaître les exigences du Circaète à une échelle plus large et par conséquent d'identifier plus finement des zones favorables à sa nidification peut-être en vue d'appliquer une protection « habitat » plutôt qu' « espèce ». En effet, comme l'a montré le travail mené précédemment, notamment à travers les enquêtes, la protection appliquée actuellement est fortement dépendante de l'effort de suivi réalisé localement. Donc en l'absence de suivi et de connaissance sur les emplacements précis des aires de Circaète, celui-ci n'est pas protégé. Le but serait donc d'être capable d'identifier puis d'assurer le maintien de sites favorables à la nidification de l'espèce au sein d'un massif par exemple. Cela permettrait aux oiseaux de trouver un autre site si le leur venait à être altéré, mais également de favoriser la progression du Circaète vers le Nord du pays en préservant des sites qui lui seraient favorables.

3.1. Première approche : sur l'ensemble de la France

Comme il a été dit en première partie du rapport, l'habitat du Circaète est très variable selon les régions (1.3.2.). Afin d'avoir une vision la plus large possible, j'ai fait le choix d'étudier des sites sur l'ensemble de l'aire de présence du Circaète en France au moins dans un premier temps.

3.1.1. Choix des variables

A partir de la bibliographie, j'ai fait l'hypothèse que les facteurs les plus importants pour le Circaète dans le choix du site de reproduction sont le calme, la présence de zone de chasse à proximité et la formation de courants ascendants.

Afin de prendre en compte au mieux ces facteurs, plusieurs éléments du paysage ont été étudiés. J'ai supposé que les deux éléments les plus importants étaient le relief et l'occupation du sol. Seulement avec ces deux éléments il est déjà possible d'appréhender les 3 facteurs qui nous intéressent. L'occupation du sol donne accès aux surfaces des différents types de milieux, par conséquent aux surfaces pouvant servir de zones de chasse. Elle donne également une information sur la tranquillité du milieu. On peut aisément supposer qu'un grand massif forestier bordé de milieux ouverts « sauvages » (tels que les landes ligneuses ou des pelouses) soit plus calme qu'une zone fortement agricole. Le relief est également important pour la tranquillité du milieu, des zones très accidentées ou en forte pente étant difficilement accessibles. Ces deux éléments sont également essentiels pour la formation d'ascendances thermiques.

Les ascendances thermiques font partie de cellules de convection d'air créées par une différence de masse. Lorsque la température ou l'humidité de l'air augmente, la masse d'un volume donné diminue. Pour qu'une ascendance se forme il est donc nécessaire qu'il y ait une accumulation d'air chaud ou humide à proximité du sol. Le réchauffement de l'air au niveau du sol est dû à la réflexion de l'énergie solaire sur ce dernier. La nature de la surface du sol détermine le pourcentage d'énergie solaire réfléchi, par conséquent la capacité du sol à réchauffer l'air à sa surface. L'accumulation d'air chaud n'est pas suffisante pour créer un courant ascendant, l'air doit également être mis en mouvement. Lorsqu'il y a du vent, tout obstacle à celui-ci entraîne la formation d'une turbulence permettant la mise en mouvement de l'air, et donc la formation d'une ascendance. La nature des obstacles peut être extrêmement variable, une ligne de crête, une lisière, un bâtiment, etc. En absence de vent, un contraste de température horizontal (2 versants opposés, zone d'ombre, lisière, etc.) ou un brassage d'air (passage de voitures par exemple) est nécessaire pour qu'une ascendance thermique se crée (Comité régional de vol à voile de Bretagne, planeur-bretagne.fr).

Le dérangement humain sur les sites de reproduction est lié à la pénétrabilité des massifs. Plus le nombre de chemins ou de pistes est élevé, plus la fréquentation est susceptible d'être élevée. Les voies de circulation ont donc également été prises en compte, du simple chemin de randonnée à l'autoroute.

Des éléments de descriptions du type de peuplement forestier autour du site ont également été étudiés bien qu'il soit connu que le Circaète ne semble pas très exigeant là-dessus.

3.1.2. Calcul des variables et données utilisées

La liste de toutes les variables utilisées ainsi que les protocoles de calcul suivis sont présentés en Annexes 4 à 6.

3.1.2.1. Les sites de nidification

L'ensemble du réseau Circaète regroupant les naturalistes suivant l'espèce a été contacté afin de recueillir le plus grand nombre possible de localisations de sites de reproductions de Circaète. Différents types de données ont été collectés. Selon la personne les ayant fournis, la nature n'était pas systématiquement la même. Le plus souvent, les données étaient une liste de points GPS correspondant à des nids (fichier de coordonnées ou fichier shapefile). Parfois, il s'agissait de périmètres de protection au format shapefile. Une homogénéisation a donc été réalisée.

Les sites sont localisés par un unique point. Ces points sont nommés par la suite PMS (Point Modélisant le Site). Dans le cas où les données étaient déjà de nature ponctuelle, le but a donc été de ne garder qu'un seul point par site, ce qui était très souvent déjà le cas. Lorsque plusieurs points étaient renseignés pour un même site, le point le plus au centre du nuage a été gardé. Lorsque les données étaient des périmètres de protection, c'est le barycentre du polygone qui a été utilisé. Tous les points se sont vus attribuer une projection en RGF93/Lambert-93 (EPSG : 2154).

Au total, 410 sites ont été obtenus. La Figure 4 montre que les sites sont répartis de manière large sur la France ; cependant beaucoup de données sont concentrées dans le quart Sud-Est du pays, et des secteurs tels que les Pyrénées ne sont pas représentés malgré des populations de Circaète assez importantes (voir la carte de répartition au 1.1.2.).

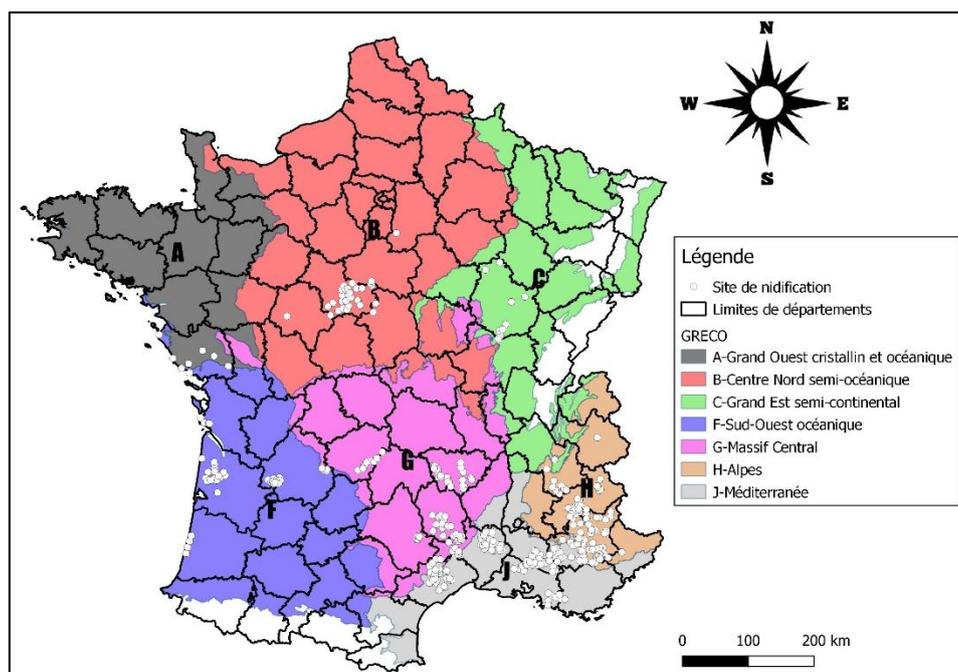


Figure 4 : Carte de répartition des sites de nidification étudiés

Tableau 4 : Nombre de sites étudiés pour chaque entité phytogéographique

Entité phytogéographique	Nombre de sites
Montagnes	152
Plaines et collines	95
Région méditerranéenne	163
Total général	410

Les Tableau 4 et Tableau 5 présentent le nombre de sites étudiés par entité phytogéographique (Montagnes ; Plaines et collines ou Région méditerranéenne) et par Grande Région Ecologique (GRECO). Pour les GRECO « Grand Ouest cristallin et océanique » (A) et « Grand Est semi-continentale » (C), le nombre de sites est trop faible pour espérer obtenir des résultats fiables.

Tableau 5: Nombre de sites étudiés par GRECO

GRECO	Nombre de sites
A-Grand Ouest cristallin et océanique	6
B-Centre Nord semi-océanique	29
C-Grand Est semi-continentale	12
F-Sud-Ouest océanique	47
G-Massif Central	79
H-Alpes	93
J-Méditerranée	144
Total général	410

Les GRECO pour lesquelles aucun site n'a été obtenu ne sont pas mentionnées.

Les fichiers shapefiles contenant les GRECO et les entités phytogéographiques sont mis à disposition librement par l'Institut National Géographique (IGN) sur leur site internet.

3.1.2.2. Variables topographiques

Afin de prendre en compte le relief autour du site plusieurs variables ont été calculées à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 25m issu de la BDalt version 2015 de l'IGN disponible à l'ONF :

- 3 variables « classiques » permettant de caractériser l'environnement topographique, toutes prises au PMS :
 - o l'altitude en mètre (Alti) ;
 - o l'exposition, en 8 catégories : Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest (Expo) ;
 - o la pente (Pente).
- La rugosité du terrain sur un rayon de 500m autour du PMS.
L'indice de rugosité, noté TRI, quantifie l'hétérogénéité du terrain (Équation 1 Équation 2).

Équation 2 : Formule de l'indice de rugosité

$$\text{Pour le pixel } 0 \text{ (voir la Figure 5), } TRI = \sqrt{\sum_{i=1}^8 h_i^2},$$

où h_i est la différence d'altitude entre le pixel 0 et le pixel i (Riley S. & al, 1999).

Chaque case représente un pixel. Le pixel 0 est le pixel pour lequel le TRI est calculé. La numérotation des pixels 1 à 8 n'a aucune importance.

8	1	2
7	0	3
6	5	4

Figure 5 : Aide à la compréhension du calcul de l'indice de rugosité

Des classes de rugosité ont été créées, du TRI le plus faible vers le TRI le plus élevé. Dans leurs travaux, Riley S. & al ont utilisé 7 classes définies de façon à ce que chaque classe occupe la même surface sur leur zone d'étude. Il n'était pas envisageable ici d'appliquer la même méthode compte tenu de l'emprise de la zone étudiée et de la résolution utilisée. Le choix a donc été fait de s'appuyer sur la classification réalisée par Riley S. & al. Le pas du MNT utilisé par Riley S. & al était de 1000m, soit une résolution 40 fois supérieure à celle utilisée ici. On peut donc considérer que $h_{i\ 1000} = 40h_{i\ 25}$. On en déduit par conséquent que $TRI_{1000} = 40TRI_{25}$. Les limites de classes utilisées par Riley S. & al ont donc été divisées par 40. En observant le rendu visuel, j'ai décidé d'affiner la classification avec une huitième classe dont la limite inférieure a été fixée arbitrairement à 50. Les valeurs supérieures à 100 n'ont pas été prises en compte car il s'agissait principalement des contours de la zone d'étude. Les classes définies sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Définition des classes de rugosité

Classe de rugosité (S_Rugo)	1	2	3	4	5	6	7	8
Valeur limite supérieure (en m)	2	3	4	6	12,5	25	50	100

3.1.2.3. Occupation du sol

L'occupation du sol a été calculée sur 4 rayons différents autour du PMS : 500m, 1km, 1,5km et 2km (code de variable : 05S, 10S, 15S et 20S). J'ai choisi d'utiliser 4 rayons différents en faisant l'hypothèse que toutes les classes de paysages n'avaient pas nécessairement la même importance en fonction de la distance au site. En effet, la surface en zones de chasse n'est peut-être pas un critère 500m autour du site mais peut l'être à 1,5 km ou 2km. J'ai choisi de limiter la distance à 2km autour du PMS bien qu'il soit connu que le Circaète puisse parcourir plus de 10km pour rejoindre une zone de chasse car au-delà la surface étudiée devient très importante, et cela pose deux problèmes. Pour un rayon de 2km, la surface du cercle pris en compte est de 1256ha, on est donc déjà bien au-delà des quelques hectares défendus par le couple, et plus la surface prise en compte augmente, moins cela est pertinent par rapport à la position du site. Le deuxième problème est purement technique, les ordinateurs utilisés pour réaliser les traitements informatiques ne sont pas très puissants. Par conséquent, au-delà de 2km les temps de calcul deviennent prohibitifs (de 6 ou 7 heures à plus de 24 en fonction du nombre de sites).

Les données utilisées sont issues de la BDcarto de 2012 produit par l'IGN. Cette version est ancienne, mais c'est la dernière version disponible sur tous les départements à l'ONF.

Le paysage est découpé en 14 classes dans la BDcarto : « Bâti », « Broussailles », « Carrière, décharge », « Eau libre », « Forêt », « Glacier, névé », « Mangrove », « Marais, tourbière », « Marais salant », « Prairie », « Rocher, éboulis », « Sable, gravier », « Vigne, verger » et « Zone d'activités ». Il est important de noter que la classe « Prairie » regroupe toutes les cultures non arborées avec les pelouses et prairies (Institut Géographique National, 2013).

Certaines classes ont été fusionnées afin de limiter le nombre de variables. Les classes paysagères utilisées et les classes de BDcarto correspondantes sont présentées dans le Tableau 7. La classe « Glacier, névé » a été prise en compte, mais n'était présente pour aucun site. La classe « Mangrove » ne concerne que les territoires d'Outre-mer.

Tableau 7 : Définition des classes d'occupation du sol utilisées à partir de la BDcarto de 2012.

Classe créée (code des variables)	Classes de la BDcarto
Forêt (Frt)	« Forêt »
Prairie (Pri)	« Prairie »
Broussailles (Brs)	« Broussailles »
Rocher, éboulis (Roc)	« Rocher, éboulis »
Vigne, verger (Vrg)	« Vigne, verger »
Milieus humides (Mxh)	« Marais, tourbière », « Marais salant », « Eau libre »
Surface anthropique (Ath)	« Bâti », « Carrière, décharge », « Zone d'activité »

3.1.2.4. Voies de communication

Les tracés des différents types de voie de communication sont issus de la BDtopo de 2019 produit par l'IGN. A partir d'un algorithme de calcul de la visibilité depuis un point du plugin « Visibility Analysis » de QGIS, seules les parties des tracés visibles 15m au-dessus du PMS ont été sélectionnés, sur un rayon de 500m.

Les différents types de voies ont été répartis en 3 groupes selon leur usage. Le premier groupe (LongRt1) correspond aux « Sentiers » et « Pistes cyclables », il s'agit de voies physiquement non empruntables par un véhicule automobile (Institut Géographique National, 2020). Le deuxième groupe (LongRt2) est composé des classes « Chemin » et « Route empierrée », c'est-à-dire de voies d'exploitation ou de route à très faible circulation. Toutes les autres routes forment le groupe 3 (LongRt3).

3.1.2.5. Peuplements forestiers

Afin de compléter le jeu de données, des informations sur les peuplements forestiers ont été étudiées, au niveau du PMS. Ces informations ont été extraites de la BDforet version 2 produite par l'IGN, disponible à l'ONF. Les données extraites précisent la nature du peuplement (FRT) selon 5 classes : forêt fermée de feuillus ou de conifères ou mixte, forêt ouverte et landes ligneuses ; l'essence dominante (Ess) ainsi que la surface et le périmètre du peuplement dans lequel se trouve le PMS (Surf_ZN et Perim_ZN).

3.1.3. Analyse et résultats

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin d'étudier la répartition des sites. Seules les variables quantitatives sont prises en comptes dans les calculs.

On observe sur la Figure 6 une séparation nette entre les sites des GRECO B et F avec ceux des GRECO G, H et J sur le plan (Dim1, Dim2). B et F sont des GRECO de plaine tandis que G, et H sont des GRECO montagnards et J la zone méditerranéenne (voir carte figure ...). On observe donc ici une différence d'habitat de reproduction du Circaète entre des zones de plaines et des secteurs montagneux ou méditerranéens.

On remarque également que les sites des Alpes (H) et de la zone méditerranéenne (J) sont très éclatés sur le plan (Dim1, Dim2), et les deux nuages se superposent en grande partie. Cela laisse penser qu'une grande diversité de milieux est utilisée par le Circaète pour ces GRECO. Concernant le Massif Central (G), le nuage est plus compact que pour les Alpes ou la Méditerranée, et semble être à l'intersection de ces deux nuages. Les sites de reproduction du Circaète semble donc en grande partie similaire entre les Alpes, le Massif Central et la Méditerranée. On note cependant une forte séparation des sites méditerranéens avec les sites montagnards sur la dimension 3.

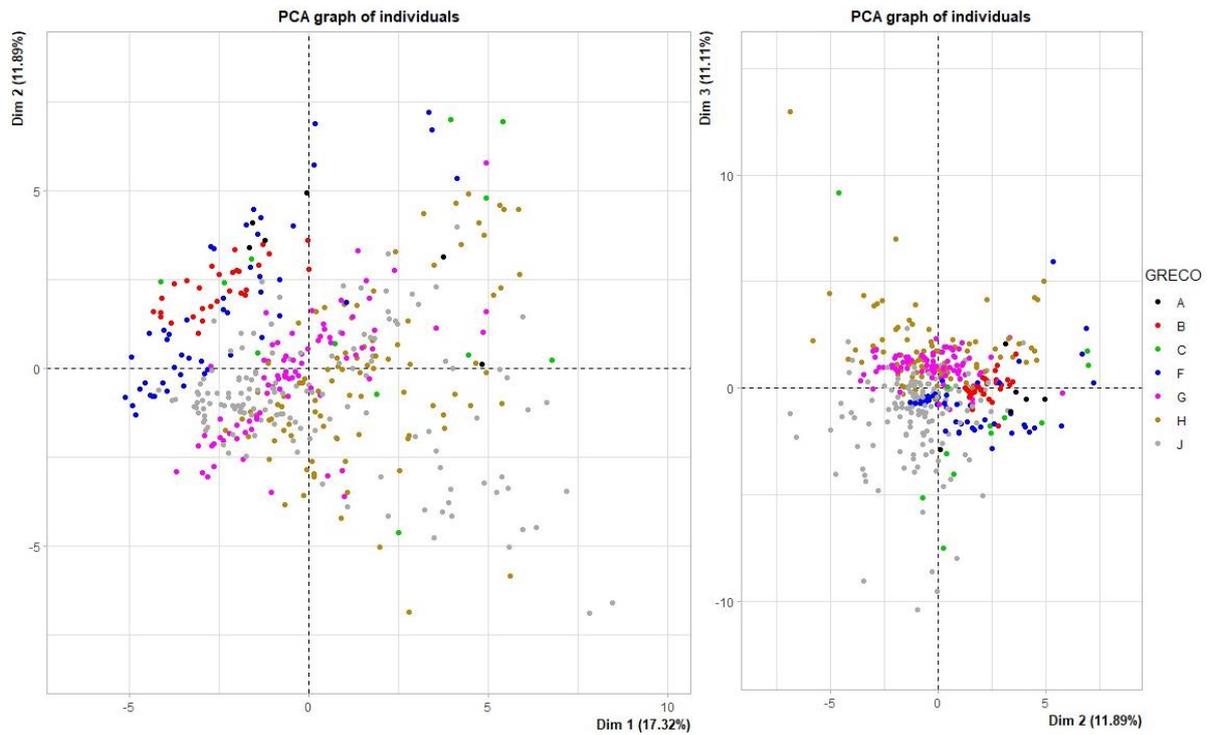


Figure 6 : Répartition des sites de nidification sur les plans formés par les dimensions 1 et 2 (à gauche) et 2 et 3 (à droite) issues de l'ACP

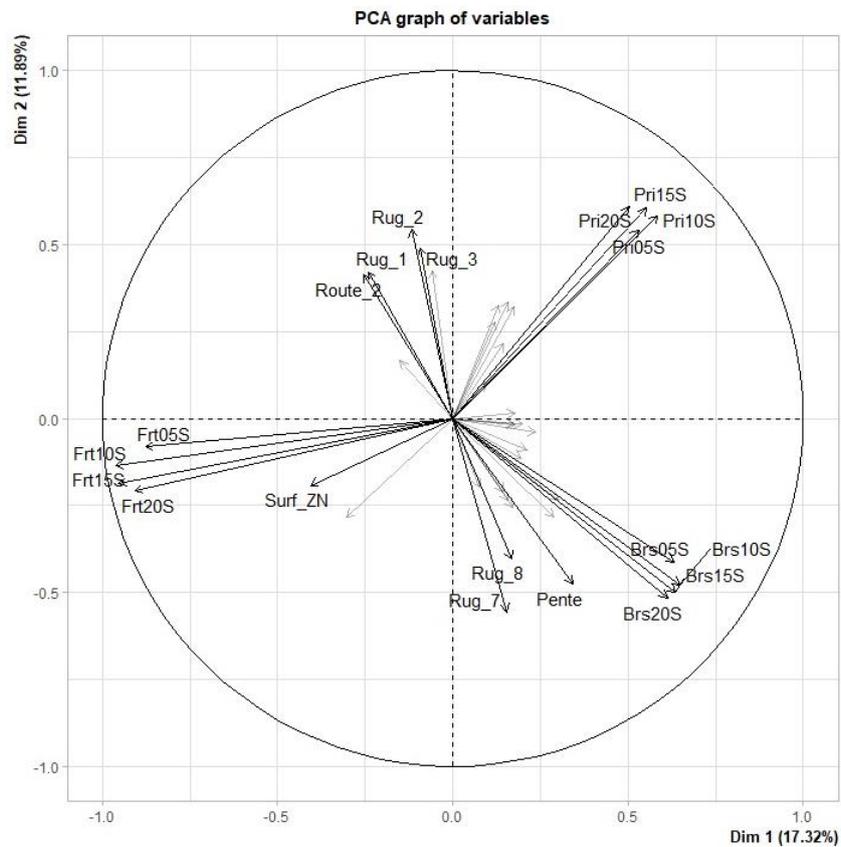


Figure 7 : Représentation graphique des 20 variables ayant la plus forte contribution aux dimensions 1 ou 2 issues de l'ACP sur l'ensemble des sites

On observe sur la Figure 7 que les variables relatives à la surface forestière (Frt...) ainsi que les variables concernant les prairies et les cultures (Pri ...) ou les broussailles (Brs...) sont fortement impliquées dans la construction de la dimension 1, mais de façon opposée. **La dimension 1 correspondrait donc à un degré d'ouverture du milieu, des sites très forestiers vers des sites de milieux ouverts.** Concernant la dimension 2, les variables de forte rugosité (Rug_7 et Rug_8), la pente et les broussailles sont fortement impliquées négativement. A l'inverse, les variables de faibles rugosité (Rug_1 à Rug_3) et les prairies et cultures sont très représentées de façon positive. **La dimension 2 représenterait le relief, de milieux très accidentés et « sauvages » vers des milieux plats et cultivés.**

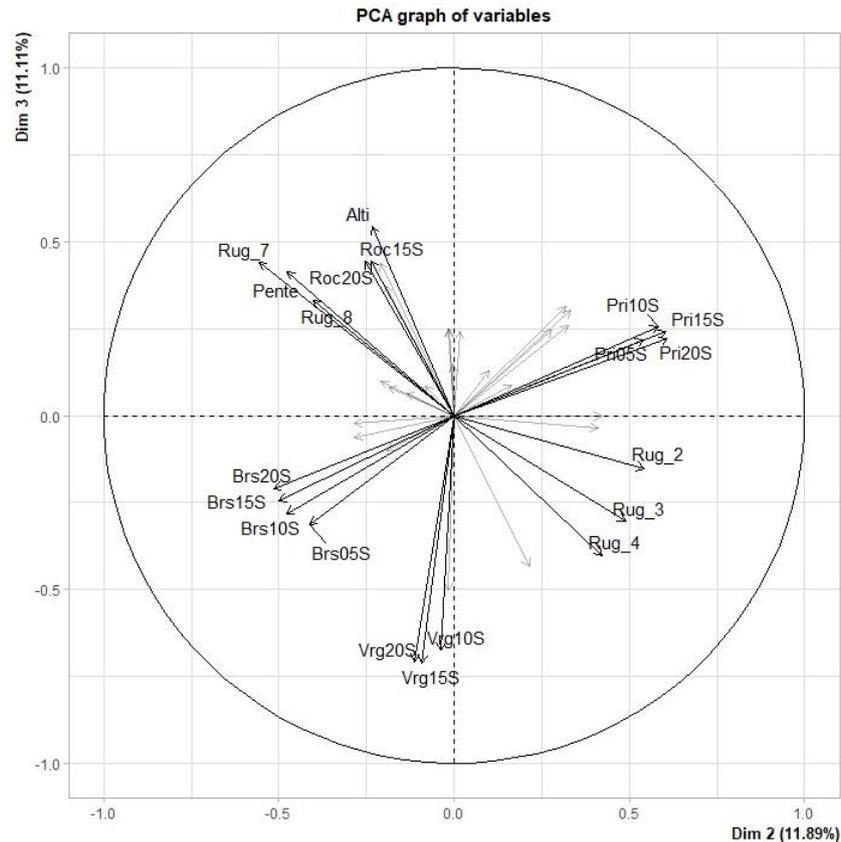


Figure 8 : Représentation graphique des 20 variables ayant la plus forte contribution aux dimensions 2 ou 3 issues de l'ACP sur l'ensemble des sites

Sur la Figure 8, on observe que les variables les plus impliquées sur la dimension 3 sont les surfaces en vignes et vergers (Vrg...) de façon négative. Ceci explique la séparation entre les nuages de points des GRECO Méditerranée et Alpes/Massif Central, le pourtour méditerranéen étant une zone où les vignes et les cultures arboricoles sont nombreuses (abricots, pêches, amandes, etc.) ce qui n'est pas le cas en montagne.

En croisant les observations faites sur les Figures 5, 6 et 7, on peut supposer qu'en plaine le Circaète niche dans des zones très forestières avec peu de relief. En revanche, en montagne ou en Méditerranée le Circaète serait capable de nicher dans une large gamme de milieux.

Le Tableau 8 présente le pourcentage de sites de nidification par type de peuplement et pour chaque GRECO. De manière générale, on observe que la grande majorité des sites (88%) se trouve en forêt fermée, donc ayant un couvert arboré supérieur à 40% (Institut Géographique National, 2020). La répartition des sites semble guidée par le type de forêt présent localement plus que par un choix de l'oiseau. On observe par exemple dans les Alpes (H) ou dans le Sud-Ouest (F) que les sites sont en proportion importante en forêts résineuses, mais cela peut s'expliquer par la présence importante de résineux dans ces régions (les sites du GRECO F sont pour la plupart dans les Landes).

Tableau 8 : Répartition des sites de nidification en fonction du type de peuplement

GRECO	Forêt fermée de conifères	Forêt fermée de feuillus	Forêt fermée mixte	Forêt ouverte	Landes ligneuses	Nombre de sites
B	34%	52%	10%	3%	0%	29
F	67%	17%	11%	2%	2%	46
G	20%	42%	24%	9%	5%	79
H	45%	10%	34%	7%	4%	91
J	13%	44%	25%	12%	6%	144
Total	30%	34%	24%	8%	4%	402

On remarque sur le Tableau 9 une forte proportion de sites non exposés pour les GRECO de plaine (B et F), ce qui montre que la présence de relief, même minime, n'est pas nécessaire au Circaète.

Dans le Massif Central 64% des sites sont orientés vers l'Est et 62% dans les Alpes. En revanche en Méditerranée aucune orientation ne semble dominante. **Il est possible que le Circaète favorise les versants orientés vers l'Est en montagne afin de bénéficier de chaleur rapidement après le lever du Soleil du fait de température plus faible qu'en Méditerranée. Il peut s'agir d'une question de survie, en particulier du poussin, d'une influence sur la formation d'ascendance thermique, ou d'un cumul des deux.**

Tableau 9 : Répartition des sites de nidification en fonction de l'exposition

GRECO	Est	Nord	Nord-Est	Nord-Ouest	NULL	Ouest	Sud	Sud-Est	Sud-Ouest	Nombre de sites
B	3%	21%	10%	0%	38%	3%	10%	10%	3%	29
F	11%	11%	11%	4%	32%	11%	11%	6%	4%	47
G	33%	1%	15%	8%	0%	4%	15%	16%	8%	79
H	25%	10%	25%	12%	0%	6%	8%	12%	3%	93
J	16%	13%	13%	15%	0%	10%	14%	14%	6%	144

Les deux tableaux précédents n'ont pas fait l'objet d'une vraie étude statistique bien que cela aurait été souhaitable afin de confirmer ou non les hypothèses avancées. Pour cela il faudrait connaître les surfaces de chaque catégorie pour chaque GRECO afin d'avoir accès à la loi de probabilité que suivrait la répartition des sites si l'exposition et le type de peuplement n'étaient pas un choix de l'oiseau mais totalement aléatoire. Il serait alors possible de réaliser un test d'homogénéité du χ^2 entre la loi de probabilité théorique et la répartition des effectifs observés, et donc de dire si la répartition des sites est simplement le fruit de la répartition en surface de chaque catégorie, ou s'il s'agit d'une caractéristique des sites. Ceci n'a malheureusement pas pu être possible car les ordinateurs utilisés ne sont pas suffisamment puissants.

Afin d'affiner cette étude en vue d'obtenir plus d'informations sur les milieux utilisés par le Circaète pour nicher une autre approche a été testée.

3.2. [Deuxième approche : étude plus approfondie sur 3 secteurs](#)

3.2.1. Méthode

Pour la première approche, seuls des points où la nidification du Circaète était avérée étaient disponibles, limitant grandement les possibilités d'analyse. Le but ici est donc d'étudier des secteurs où les sites de nidification sont en grande majorité connus afin de générer des points aléatoirement hors des

sites de reproduction afin de pouvoir construire un modèle de présence/absence de l'espèce à partir de variables paysagères.

3.2.1.1. Choix des zones d'études

Plusieurs secteurs ont été sélectionnés à partir des données récoltées précédemment en raison du fort suivi qui y est réalisé, en vue d'obtenir des zones d'études où la présence du Circaète est relativement bien connue. Toujours dans le but d'étudier les différents habitats utilisés par le Circaète, une zone a été sélectionnée pour chaque entité phytogéographique. Le Tableau 10 présente les caractéristiques générales des 3 zones sectionnées.

Les Annexes 7 à 12 sont des cartes d'occupation du sol et de la topographie des 3 zones d'études.

Tableau 10 : Caractéristiques générales des 3 zones d'études

Zone d'étude	Entité phytogéographique	Surface (ha)	Nombre de sites de nidification étudiés	Naturaliste suivant la zone
Gorges du Gardon	Région méditerranéenne	96908	34	Guillaume Fréchet
Montagnes des Alpes de Haute Provence	Montagnes	278186	53*	Cédric Arnaud
Médoc	Plaines et collines	68904	16	Jacques Anglade

* Seuls les sites où au moins une aire a été localisé ont été étudiés

D'autres secteurs auraient été intéressants à approfondir notamment le Lubéron, la Sologne et la Haute-Loire, mais n'ont pas pu être étudiés faute de temps.

3.2.1.2. Délimitation des zones d'études et définition des sites

L'objectif est de pouvoir générer aléatoirement des points hors des sites de reproduction du Circaète afin d'être en mesure de comparer les sites de nidifications avec le reste de la zone d'étude, d'où la nécessité d'avoir sélectionné des zones fortement suivies, afin d'éviter les biais dû à la méconnaissance d'un grand nombre de sites.

Chaque site de nidification est repéré par le même point que précédemment (voir 3.1.2.1). Une zone tampon d'un kilomètre de rayon est étudiée autour de chaque point. Chaque site de nidification est donc un assimilé à un disque d'une surface de 314ha. Cette surface est volontairement élevée afin de prendre en compte le site de nidification et ses environs.

Les zones d'étude ont été délimitées sur SIG à partir de zones tampons autour des PMS de façon obtenir un ensemble non troué. Les limites des zones d'étude ont été placées à une distance de 4km des sites de reproduction se trouvant en périphérie afin de laisser la possibilité de générer un point « zéro » entre ces sites et la limite de la zone.

Afin de générer des points « zéro » aléatoirement au sein de la zone d'étude, sans que ceux-ci puissent être placés sur un site de nidification, une zone tampon d'un kilomètre autour de chaque site de nidification a été retiré du polygone délimitant la zone d'étude. Pour les Alpes de Haute-Provence, les secteurs où la présence d'un site de nidification de Circaète est fortement suspectée, ou avérée sans que l'emplacement d'une aire ne soit connu, ont également été exclus de la zone d'étude avec une zone tampon d'un kilomètre. La limite de la zone étude a également été avancée d'un kilomètre. La Figure 9 illustre la démarche décrite précédemment. Une fois cela réalisé, autant de points que le nombre de sites de nidification connus ont été générés aléatoirement, sans que ceux-ci puissent être à moins de 2km les uns des autres. Comme les sites de nidification, les sites « zéro » sont des disques d'une surface de 314ha.

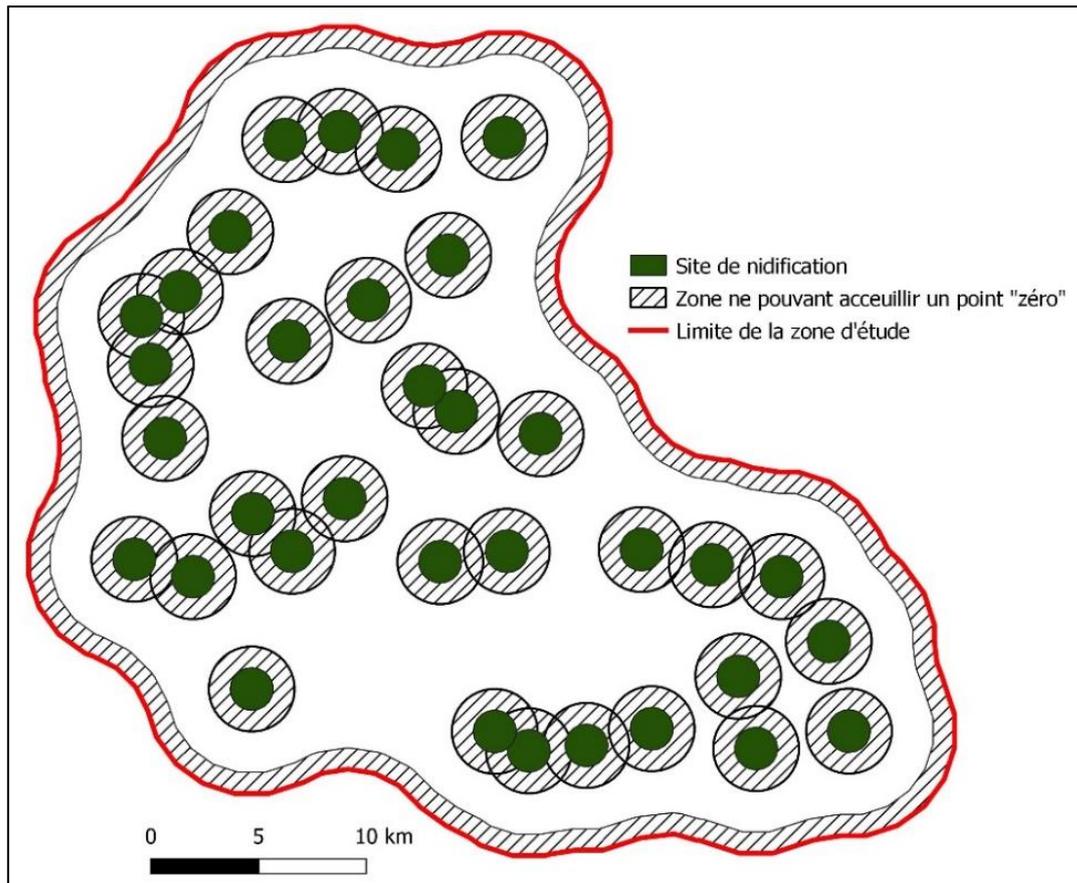


Figure 9 : Schéma illustrant la délimitation de la zone pouvant accueillir les points « zéro » au sein d'une zone d'étude

3.2.1.3. Etude du paysage

L'écologie du paysage s'appuie sur un modèle tâches-corrridor-matrice issu de la théorie de la biogéographie des îles pour étudier la répartition des espèces (Ladet S. & al, 2017). Le paysage est alors vu comme une mosaïque de tâches des différents éléments le composant. Afin d'affiner le travail réalisé en première partie, l'occupation du sol a été étudiée à partir de variables décrivant la mosaïque paysagère. L'hétérogénéité du paysage s'évalue par deux dimensions, la composition et la configuration. La composition de la mosaïque paysagère renvoie à la nature et la proportion surfacique des tâches composant cette mosaïque. La configuration reflète l'agencement spatial des tâches (Ladet S. & al, 2017). La Figure 10 schématise cela.

Afin d'étudier l'importance de la composition et de la configuration du paysage dans le choix du site de nidification du Circaète, plusieurs variables ont été calculées grâce au plugin LecoS de QGIS. Cela à partir d'une carte d'occupation des sols en 2018 sur l'ensemble de la France métropolitaine au format raster avec un pas de 10m, produite par le CES OSO-THEIA.

Certaines variables sont calculées sur l'ensemble du paysage, d'autres le sont pour chaque type d'occupation du sol définies (appelé classe). Ainsi, afin de réduire le nombre de variables à calculer et donc le temps de calcul, certaines classes ont été fusionnées. Au total, 10 classes sont étudiées : les grandes cultures, les prairies, les vignes et vergers, les forêts de feuillus, les forêts de conifères, les landes ligneuses, les pelouses, les surfaces minérales, le sable et l'eau. La correspondance entre les classes originales et les classes créées est présentée en Annexe 13.

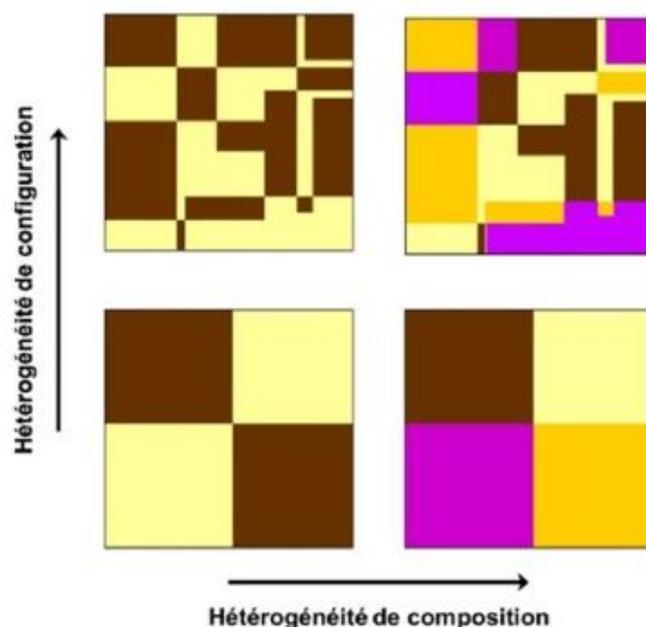


Figure 10 : Hétérogénéité de composition et de configuration d'un paysage (Ladet S. & al, 2017. adapté de Fahrig L. & et al, 2011)

Les Tableau 11 et Tableau 12 ci-dessous présentent succinctement les variables calculées avec LecoS, le protocole suivi est présenté en Annexe 14.

Tableau 11 : Présentation des variables calculées avec LecoS pour chaque classe du paysage (Journaux L., 2006)

Code	Nom de la variable	Hétérogénéité mesurée	Description
LanP	Landscape Proportion	Composition	Mesure la proportion en surface d'une classe dans le paysage étudié
EdgD	Edge density	Configuration	Mesure la densité de frontière d'une classe dans le paysage étudié
PatD	Patch density	Configuration	Mesure la densité de tâches d'une classe le paysage étudié
LanD	Landscape division	Configuration	Mesure la probabilité que 2 pixels choisis aléatoirement ne soit pas dans la même tâche

Tableau 12 : Présentation des variables calculées avec LecoS sur l'ensemble du paysage (Journaux L., 2006)

Code	Nom de la variable	Hétérogénéité mesurée	Description
Simpson	Simpson Index	Composition	Mesure la probabilité que 2 pixels choisis aléatoirement ne soit pas dans la même classe
Shann_I	Shannon Index	Composition	Proche de l'indice de Simpson, mais plus sensible aux éléments rares
Shann_E	Shannon Equitability	Composition	Mesure l'équitabilité de la distribution des différentes classes

D'autres variables calculées précédemment (3.1.2.) ont été prises en compte : l'altitude, la pente, la rugosité ainsi que la longueur visible depuis le PMS pour les 3 groupes de routes définis au 3.1.2.4.

3.2.2. Analyses en Composantes Principales

Les analyses ont dans un premier temps été faites par ACP, afin d'identifier les variables importantes à prendre en compte.

3.2.2.1. Les gorges du Gardon

On observe sur la Figure 11 un très net regroupement des sites de nidification du Circaète du côté négatif de l'axe 1. L'axe 2 ne semble en revanche pas discriminant concernant la distribution des sites de reproduction.

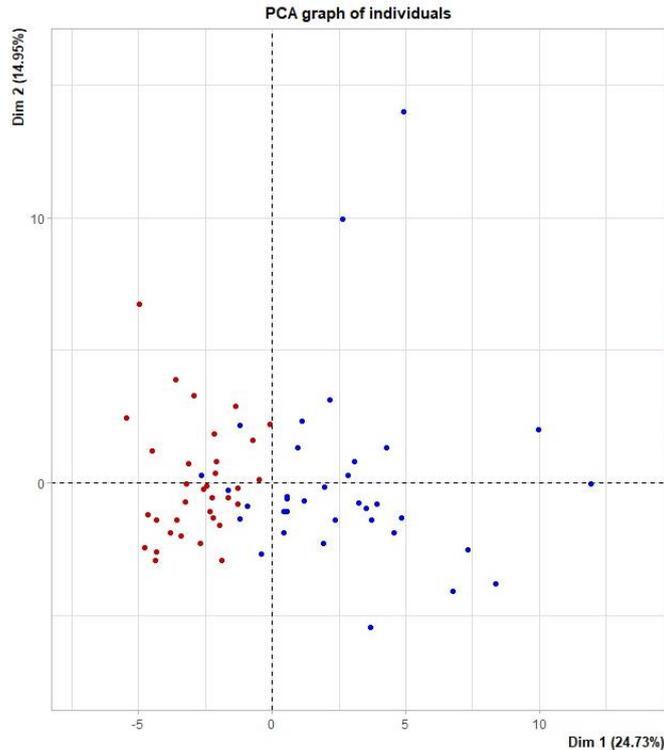


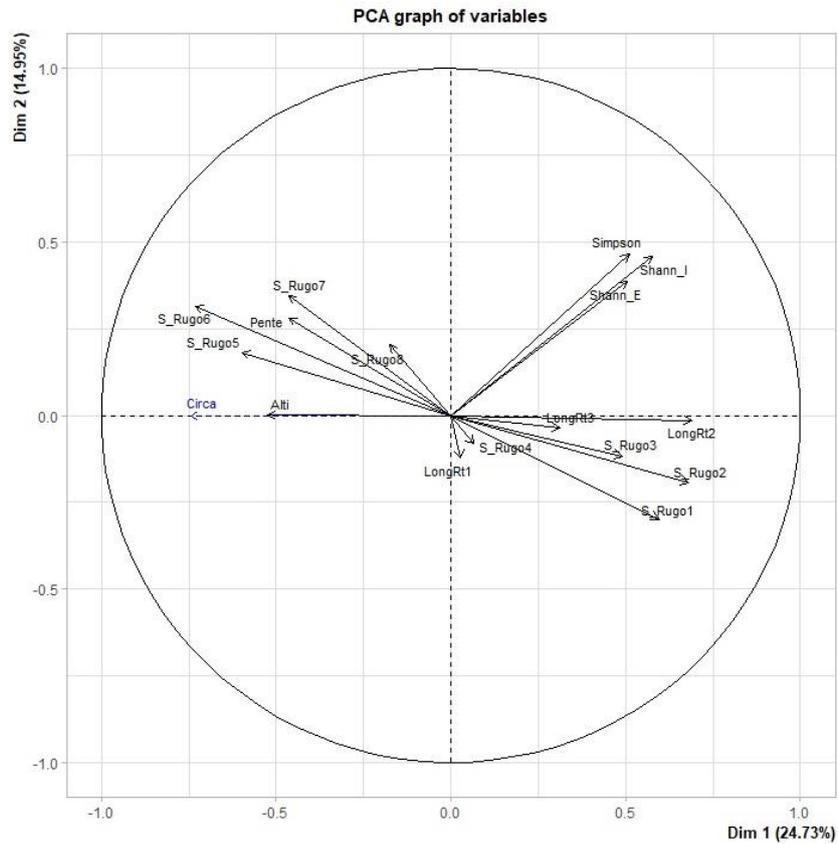
Figure 11 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les gorges du Gardon sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP

La Figure 12 présente la répartition des variables sur le plan (Dim 1, Dim2). Dans un souci de lisibilité, trois graphiques ont été réalisés afin que toutes les variables ne soient pas les unes sur les autres, mais il s'agit bien d'un seul et même résultat.

On peut voir sur le graphique A une forte implication des différentes variables sur l'axe 1. Du côté négatif se trouvent des variables relatives à un relief marqué : l'altitude (Alti), la pente (Pente), les classes de rugosité élevée (S_Rugo5, S_Rugo6, S_Rugo7 et dans une moindre mesure S_Rugo8). Au contraire, les classes de rugosité faible ont une forte implication positive. On remarque que cette implication est également marquée pour les indices de diversité du paysage : Indice de Simpson (Simpson) et les deux indices de Shannon (Shann_I et Shann_E). Sur le graphique B, on observe une séparation sur l'axe 1 entre les variables relatives aux paysages forestiers du côté négatif (classe 04 pour les feuillus et 05 pour les conifères) et les variables relatives aux milieux agricoles du côté positif (classe 01 pour les grandes cultures, 02 pour les prairies et 03 pour les vignes et vergers). Les variables représentées sur le graphique C n'ont pas d'implication forte sur l'axe 1. **La dimension 1 correspondrait donc à un gradient entre des milieux forestiers accidentés vers des milieux agricoles avec peu de relief. Il n'est donc pas surprenant que les sites occupés par les Circaètes se trouvent du côté négatif sur la dimension 1.**

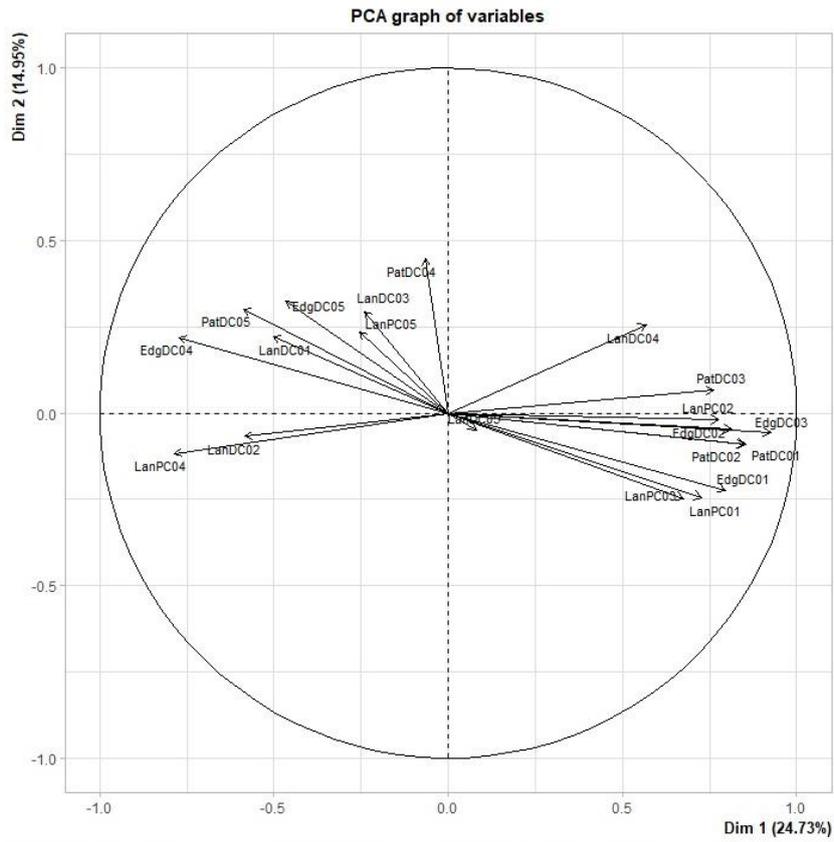
Concernant la dimension 2, on peut voir que les variables fortement impliquées se trouvent sur le graphique C. Du côté positif se trouvent des variables de fragmentation du paysage : densité de lisière

(EdgDC), et densité de taches (PatDC) pour des classes paysagères variées : pelouses (06), landes ligneuses (07), sable (09) et eau (10). **La dimension 2 correspondrait donc à un gradient entre des milieux peu fragmentés et diversifiés vers une mosaïque paysagère complexe.** Ceci semble confirmé par une implication prononcée des indices de diversité paysagère (Simpson, Shann_I et Shann_E) sur le graphique A. **La localisation du site de nidification du Circaète ne semble pas être impactée par ce gradient.**

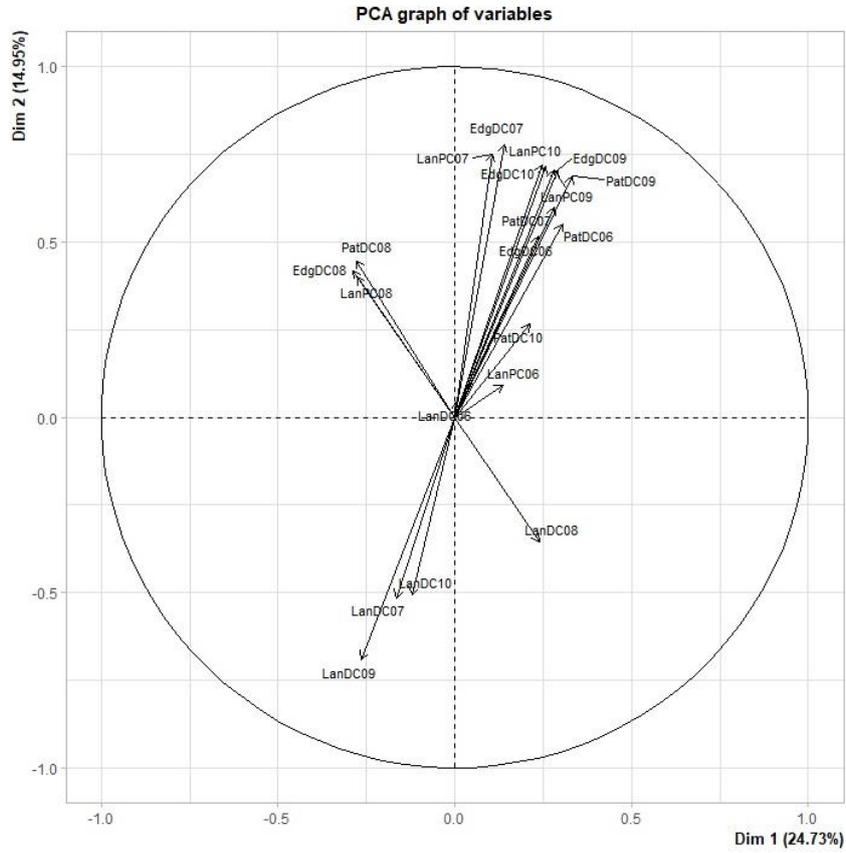


Graphique A

Figure 12 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP pour les gorges du Gardon



Graphique B



Graphique C

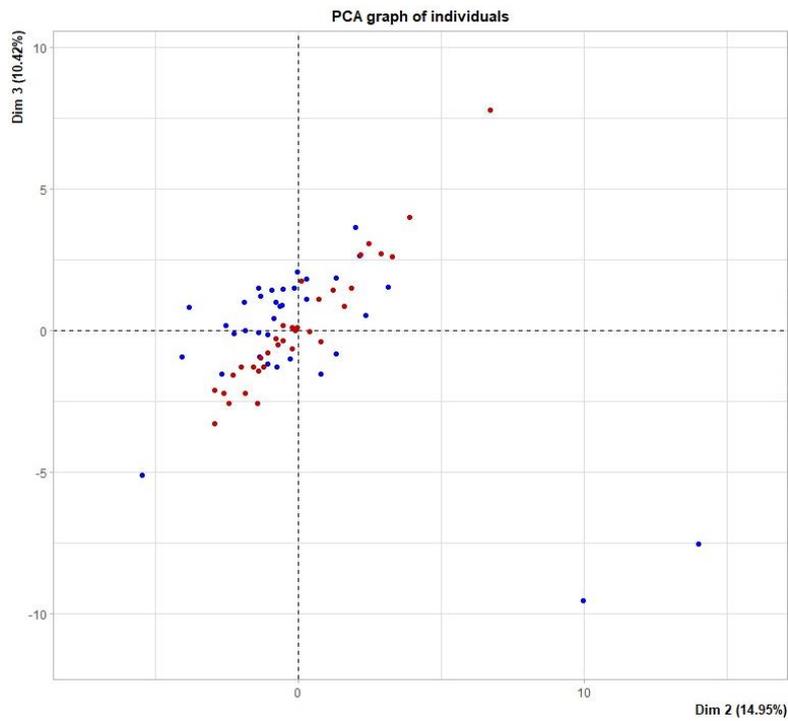


Figure 13 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les gorges du Gardon sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP

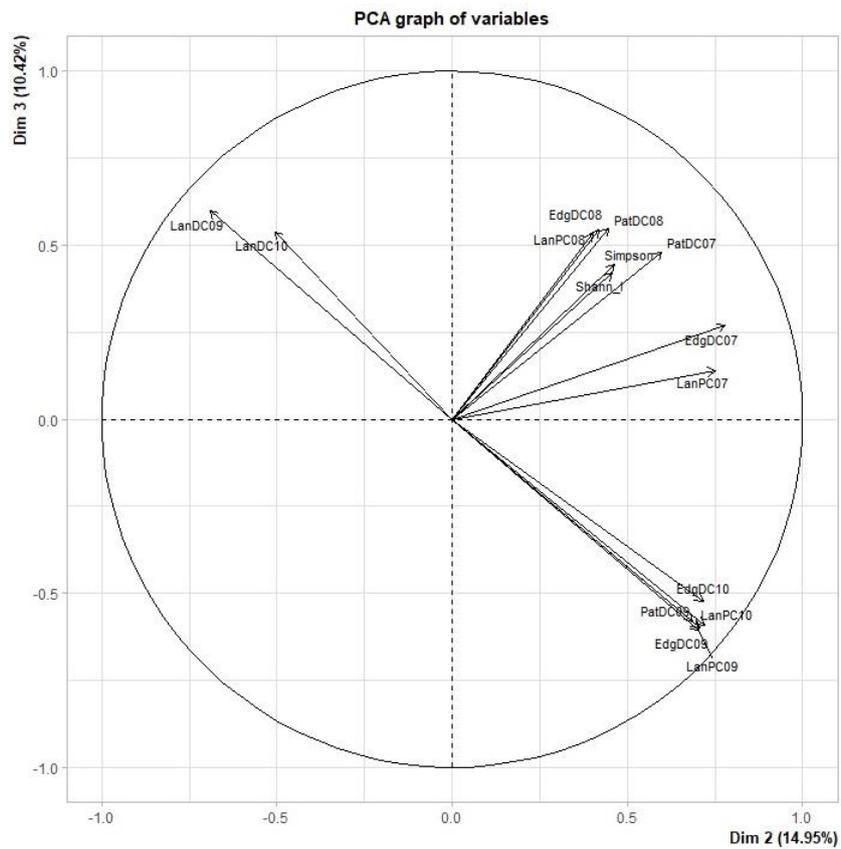


Figure 14 : Représentation des 15 variables les plus impliquées sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP pour les gorges du Gardon

On constate sur la Figure 13 que les sites de nidification s'alignent le long d'une droite d'équation $Y=X$. On observe sur la Figure 14 que les variables relatives aux classes paysagères « sable » et « eau » (09 et 10) sont orientées selon une droite d'équation $Y = - X$, donc l'opposé de la droite dessinée par les sites occupés par le Circaète. Dans les gorges du Gardons, les surfaces en eau sont principalement des cours d'eau. Le sable borde ces cours d'eau. **Le Circaète semble donc éviter la proximité des cours d'eau dans les gorges du Gardon.** Les indices de diversités paysagères ainsi que les variables relatives aux milieux rocheux (classe 08) sont en revanche orienté selon la droite $Y = X$. Les sites de nidification du Circaète sont répartis le long de cette droite, du côté négatif comme positif, **il semble donc que l'espèce soit ici indifférente à la présence de milieux rocheux, ainsi qu'à la diversité paysagère.**

3.2.2.2. Zone montagnarde des Alpes de Haute-Provence

On peut voir sur la Figure 15 que les sites avec Circaète forment un nuage très éclaté selon les deux axes. Ceci laisse penser que les milieux occupés sont variés. On observe tout de même l'absence quasi-totale de site de nidification sur l'axe 1 pour des valeurs inférieures à -4.

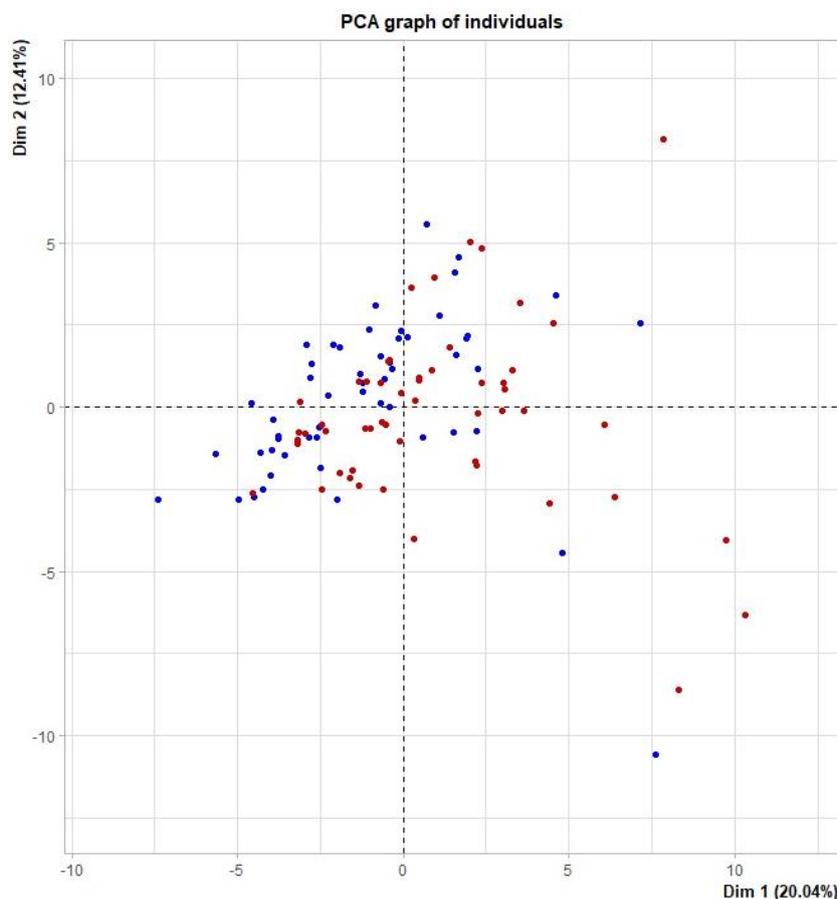
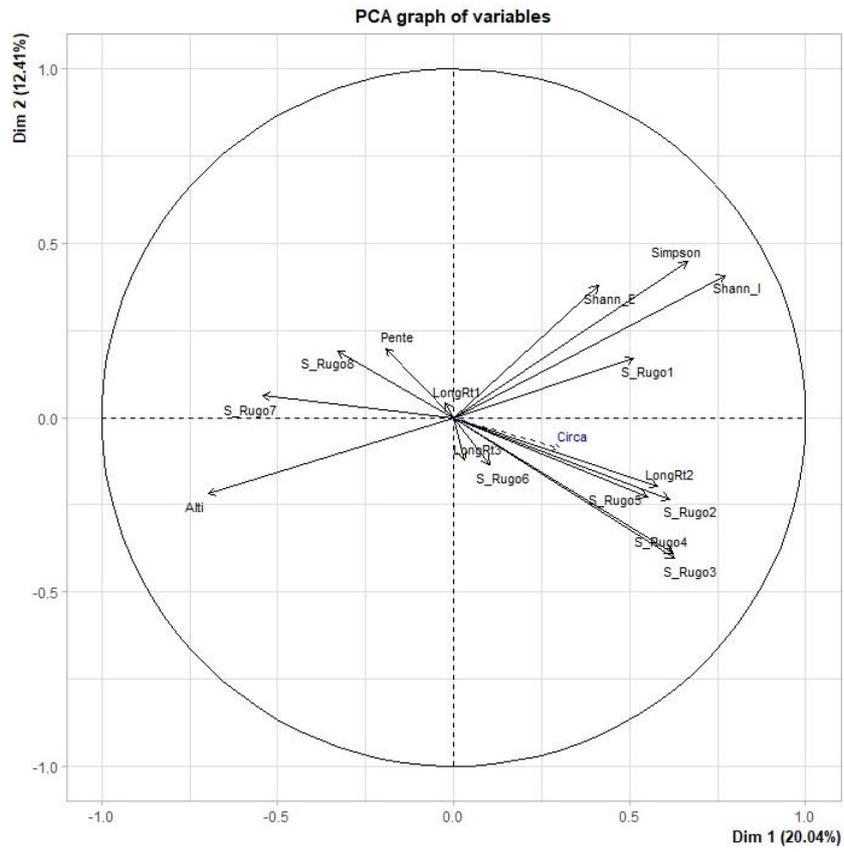
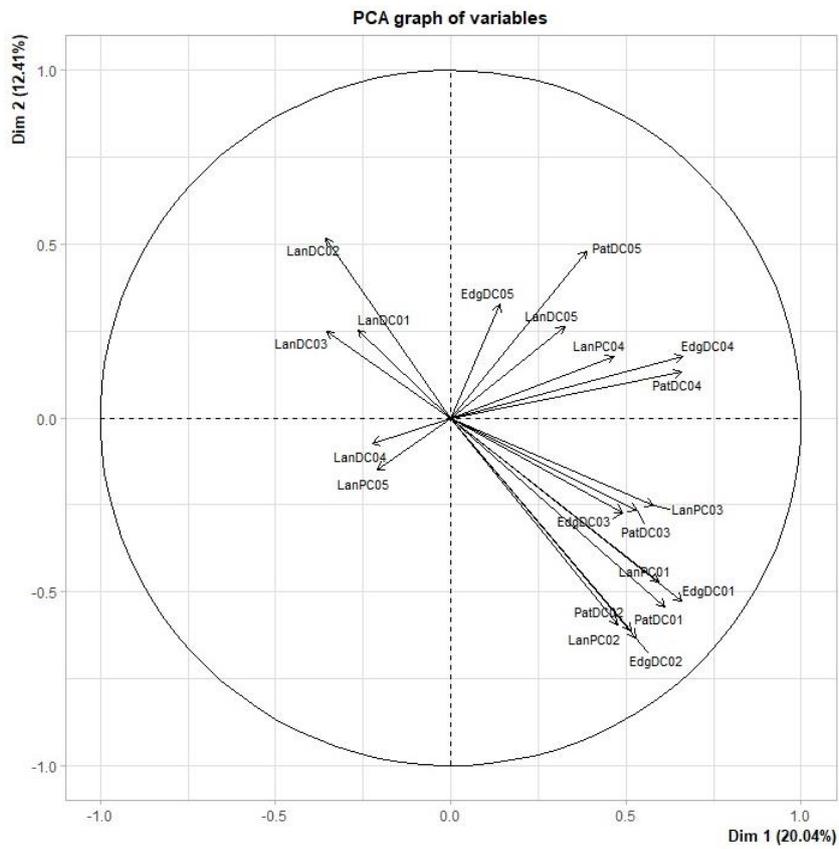


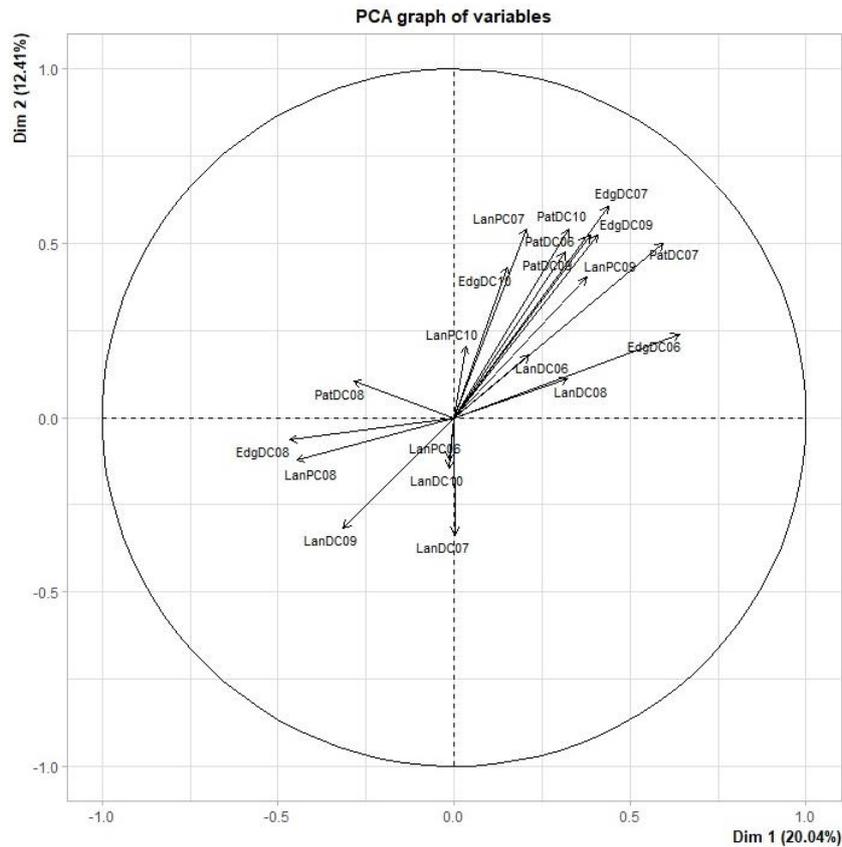
Figure 15: Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP



Graphique A



Graphique B



Graphique C

Figure 16 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP pour les Alpes de Haute-Provence

On retrouve sur le graphique A de la Figure 16 une organisation des variables assez similaire avec le graphique A de la Figure 12 dans les gorges du Gardon, avec du côté négatif des variables liées à des milieux accidentés et des reliefs marqués en opposition à des milieux avec peu de relief. L'implication des indices de diversité paysagère est cependant plus marquée dans le cas présent. On remarque sur les graphiques B et C que la quasi-totalité des variables décrivant le paysage par classe se trouvent du côté positif de l'axe 1 avec une forte implication des variables relatives aux milieux agricoles (Grandes Cultures 01, Prairies 02 et Vignes et vergers 03) ainsi qu'aux forêts de feuillus (classe 04). Seules les variables relatives aux surfaces minérales (classe 08) se trouve du côté négatif. La longueur de routes ou pistes utilisables par un véhicule (LongRt2) est également fortement représenté positivement sur la dimension 1. La dimension 1 semble donc être un gradient altitudinal, de la haute montagne vers la plaine. Cela se confirme en observant la Figure 17, où l'on voit un gradient le long de la dimension 1, des hautes altitudes vers les plus basses. **On peut voir que la limite identifiée à partir de la Figure 15 concernant la répartition des sites de nidification correspond à une altitude environ 2000m, ce qui correspond aux valeurs limites que l'on trouve dans la bibliographie quant à la nidification du Circaète.** En ce qui concerne la dimension 2, les variables les plus impliquées se trouvent sur les graphiques B et C. Du côté négatif on trouve des variables relatives aux milieux agricoles cités précédemment. Les variables liées aux pelouses (classe 06), aux landes ligneuses (classe 07) au sable (classe 09) ou à l'eau (classe 10) ont en revanche une forte implication positive. **La dimension 2 serait donc un gradient de « naturalité » des milieux ouverts, d'une zone très agricole vers des milieux plus « sauvages ». La localisation des sites de nidification ne semble pas vraiment impactée par cette dimension.**

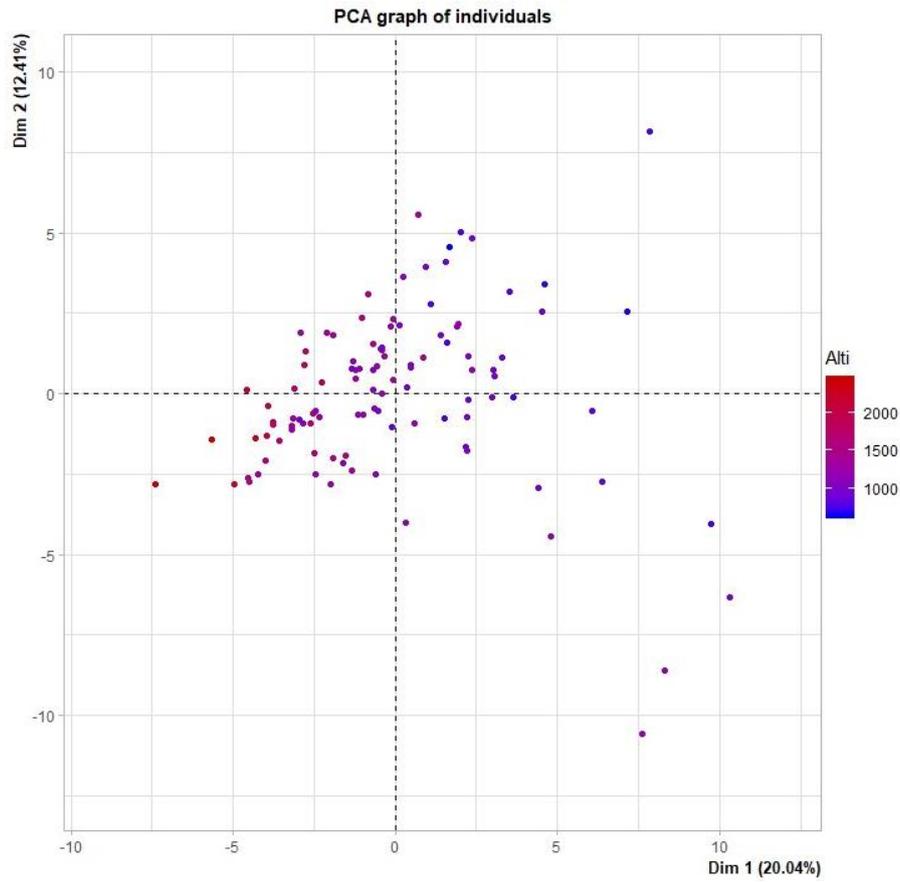


Figure 17 : Représentation des sites dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les 2 dimensions principales résultant de l'ACP, coloré en fonction de l'altitude

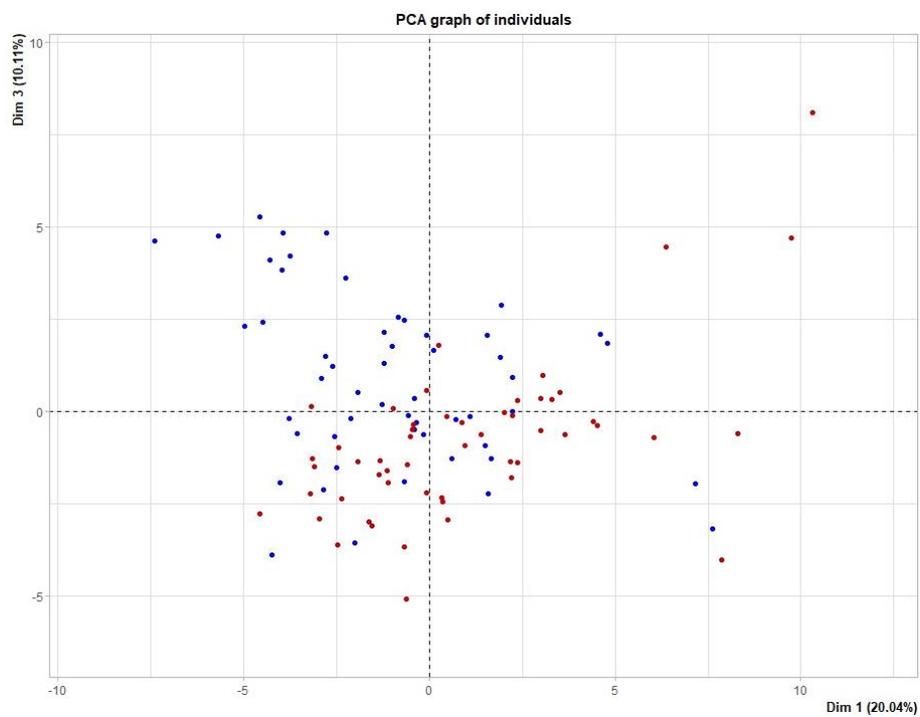


Figure 18 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans les Alpes de Haute-Provence sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP

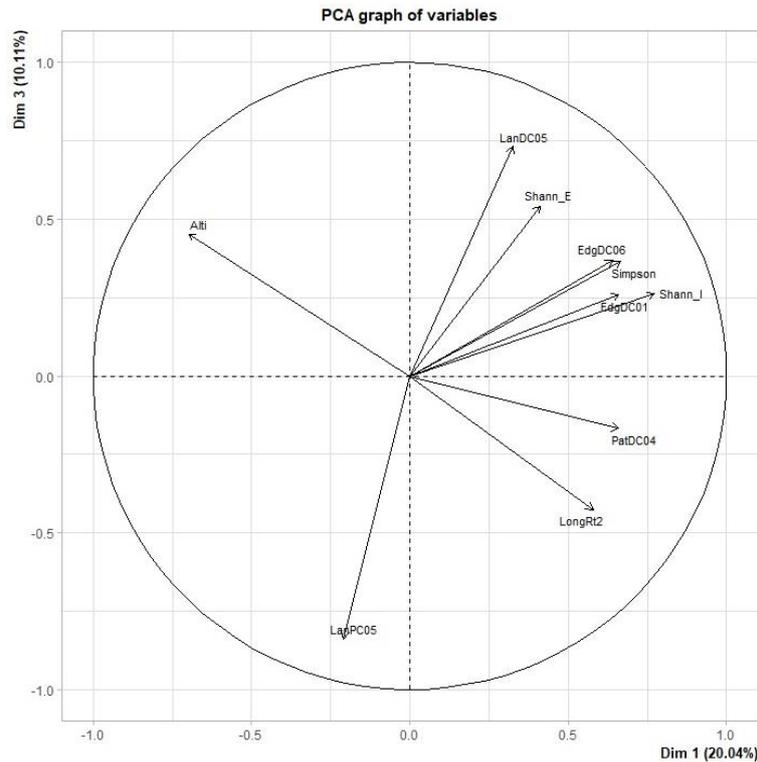


Figure 19 : Représentation des 10 variables les plus impliquées sur le plan formé par les dimensions 2 et 3 résultant de l'ACP pour les Alpes de Haute-Provence

On observe sur la Figure 18 un regroupement des sites de nidification sur la partie négative de la dimension 3, or on remarque sur la Figure 19 une très forte implication de la proportion de forêts conifères (LanPC05) sur la partie négative de la dimension 3. Les sites de nidifications semblent donc majoritairement situés en forêts résineuses.

On note également sur la Figure 18 qu'un groupe de site de nidification suit la direction de la variable représentant la densité de taches de forêts feuillus (PatDC04) sur la Figure 19. **En observant la répartition des sites de nidification selon l'axe 1 c'est-à-dire des altitudes les plus élevées vers les plus basses, on peut remarquer qu'elle suit l'angle formé par les deux flèches représentant les variables citées précédemment. On observe donc pour les sites de nidification une transition entre des forêts d'altitudes à dominante résineuse vers des forêts de plaine à dominante feuillus.**

3.2.2.3. Le Médoc

On observe sur la Figure 20 que les sites de nidification semblent se concentrer du côté négatif de la dimension 1. On peut voir sur les graphiques A et B de la Figure 21 que les variables fortement impliquées positivement dans la construction de cette dimension sont les indices de diversité du paysage (Simpson, Shann_I, Shann_E), ainsi que des faibles valeurs de rugosités, mais également des variables relatives à la présence et au morcellement important des forêts de feuillus (EdgDC04, PatDC04) ou des prairies (EdgDC02, PatDC02), ainsi que l'indice de division des forêts de conifère (LanDC05). En revanche, la proportion de forêts de conifères (LanPC05) est fortement impliquée du côté négatif. On note également sur le graphique C une forte implication des variables relatives à la présence d'eau (LanPC10, EdgDC10). La dimension 1 serait donc un gradient de milieux très forestiers vers des milieux plus diversifiés. **Le Circaète semble donc occuper principalement des secteurs très forestiers, peu variés.**

Sur la Figure 20, la répartition des sites de nidification ne semble pas être fortement influencée par la dimension 3. On note sur le graphique B de la Figure 21 que les variables fortement impliquées sur la dimension 3 sont relatives aux grandes cultures, avec du côté négatif la proportion de cette classe (LanPC01) et du côté positif l'indice de division de la classe (LanDC01). Sur le graphique C, les variables impliquées dans la construction de la dimension 3 sont relatives à la présence de pelouses

(LanPC06, EdgDC06) et à la fragmentation des landes ligneuses (LanDC07) pour le côté positif, et à la présence de landes ligneuses (LanPC07) ou à la fragmentation des pelouses (LanDC06) du côté négatif. La dimension 3 ne semble pas avoir un sens précis en termes de description du paysage, probablement du fait du faible nombre de points.

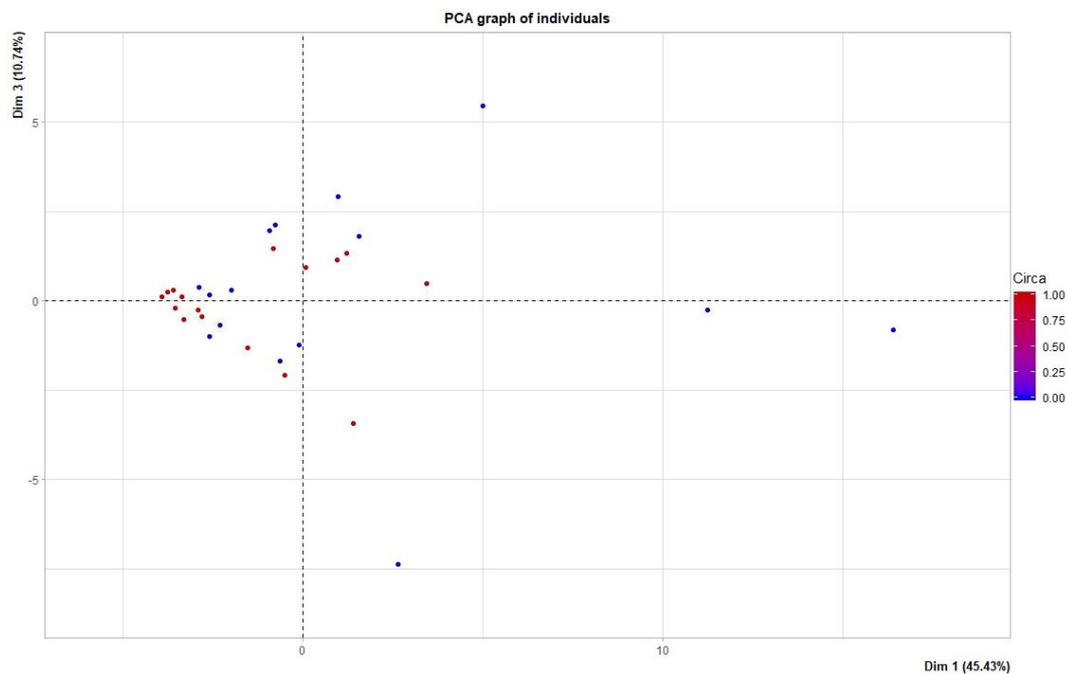
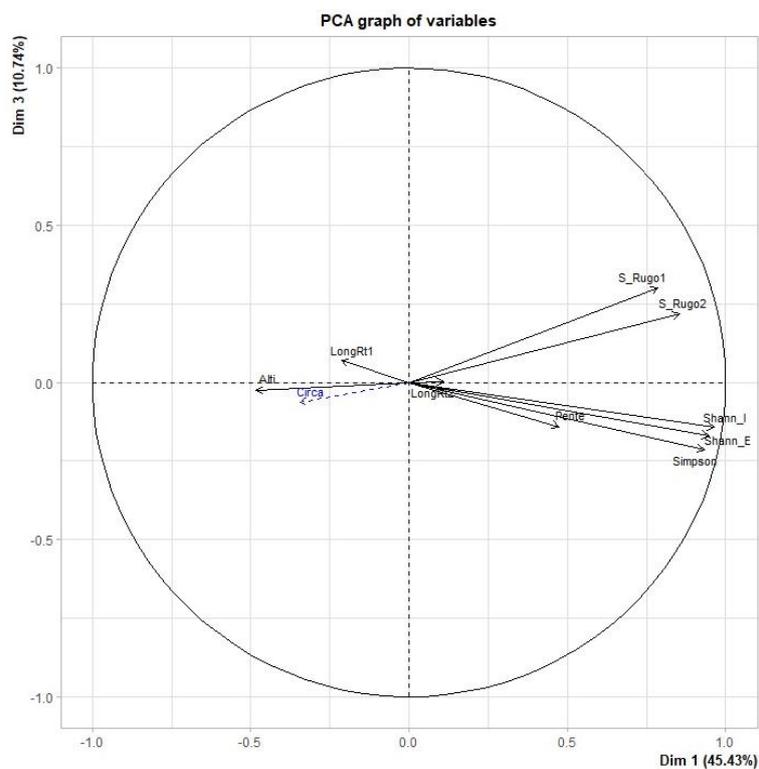
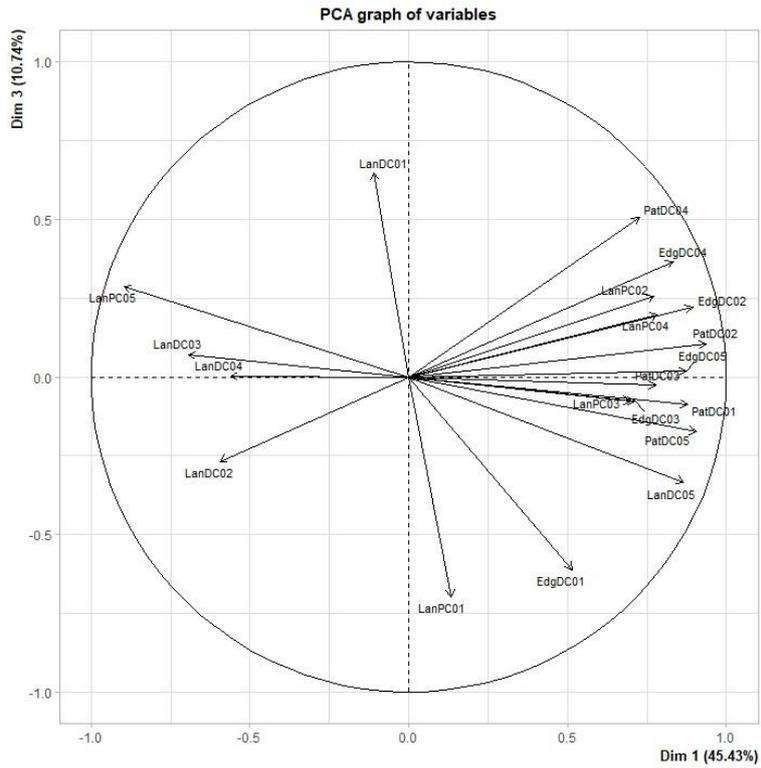


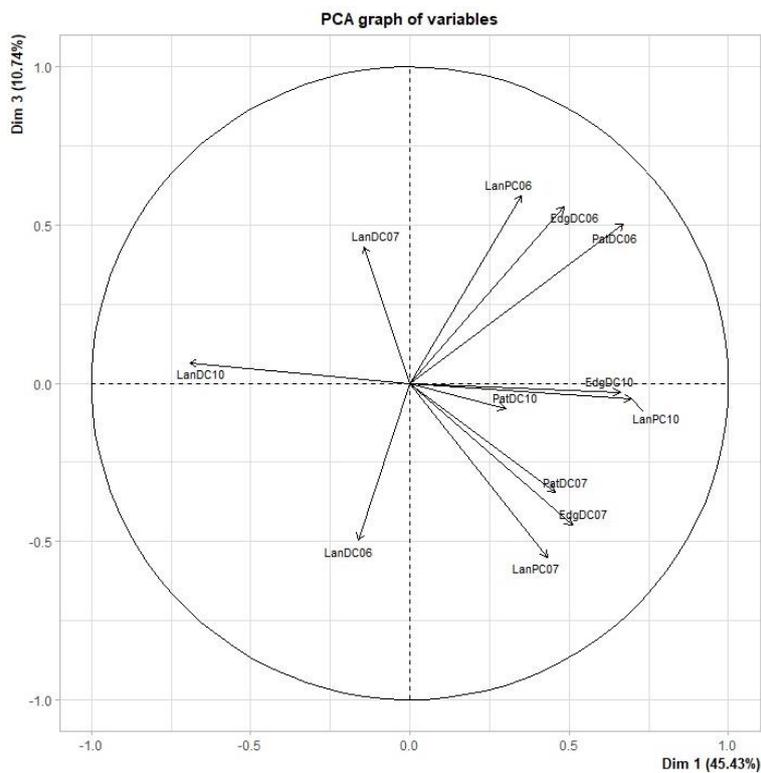
Figure 20 : Répartition des sites de nidification (en rouge), et « zéro » (en bleu) dans Médoc sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP



Graphique A



Graphique B



Graphique C

Figure 21 : Représentation des variables (séparée en 3 graphiques : A, B et C) sur le plan formé par les dimensions 1 et 3 résultant de l'ACP pour le Médoc

3.2.3. Régression logistique

En vue de construire un modèle statistique expliquant la localisation des sites de nidification à partir de variables paysagères, de nouvelles variables ont été construites à partir de celles utilisées précédemment lors des ACP en vue de réaliser une régression logistique pour chaque zone d'étude, donc de construire un modèle pour chaque zone. En se basant sur les observations faites pendant l'interprétation des ACP, les 8 classes de rugosités ont été fusionnées en seulement 3 classes. De même, seules les proportions surfaciques (LanP) des classes paysagères ont été sélectionnées, et combinées en 3 groupes : surfaces agricoles, milieux forestiers et milieux ouverts « sauvages ». Trois autres variables ont été prises en compte, l'altitude, la pente et l'indice de diversité de Simpson. La rugosité n'a pas été prise en compte dans le Médoc, compte tenu de l'absence de relief.

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-9.898e+03	6.298e+03	-1.572	0.116
Alti	5.680e-03	2.153e-02	0.264	0.792
Pente	1.444e-01	1.323e-01	1.091	0.275
Rugo1_3	-9.648e+01	2.967e+02	-0.325	0.745
Rugo4_6	-9.072e+01	2.966e+02	-0.306	0.760
Rugo7_8	-4.829e+01	2.936e+02	-0.164	0.869
LanP_agri	9.980e+03	6.368e+03	1.567	0.117
LanP_foret	9.995e+03	6.371e+03	1.569	0.117
LanP_ouv	9.990e+03	6.368e+03	1.569	0.117
Simpson	-9.526e+00	1.021e+01	-0.933	0.351

Figure 22 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans les gorges du Gardon

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	20.418437	24.939021	0.819	0.4129
Alti	-0.001020	0.001141	-0.894	0.3714
Pente	0.047287	0.031864	1.484	0.1378
Rugo1_3	-9.315534	15.560083	-0.599	0.5494
Rugo4_6	-24.876049	14.671248	-1.696	0.0900
Rugo7_8	-28.352309	14.764956	-1.920	0.0548
LanP_agri	1.049776	25.497564	0.041	0.9672
LanP_foret	8.135478	24.629545	0.330	0.7412
LanP_ouv	5.243699	24.894252	0.211	0.8332
Simpson	-3.959083	2.661127	-1.488	0.1368

Figure 23 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans les Alpes de Haute-Provence

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	18.16685	146.07343	0.124	0.9010
Alti	0.02523	0.07687	0.328	0.7427
Pente	3.43922	1.92741	1.784	0.0744
LanP_agri	-72.06709	143.94651	-0.501	0.6166
LanP_foret	-18.63537	146.63186	-0.127	0.8989
LanP_ouv	7.81086	134.10857	0.058	0.9536
Simpson	0.20558	8.21819	0.025	0.9800

Figure 24 : Résultat de la régression logistique pour la modélisation de la localisation des sites de nidification dans le Médoc

Les Figure 22, Figure 23 et Figure 24 présentent les résultats des régressions logistiques pour les 3 zones étudiées. On peut voir que les valeurs de la colonne $Pr(>|z|)$ sont toujours supérieures à 0,05. Il y a donc une absence de significativité de l'ensemble des coefficients attribués aux variables prises en compte, et ceci pour les 3 zones d'études. Il n'est donc pas possible de modéliser la localisation des sites de nidification à partir de ces variables. Deux hypothèses peuvent expliquer ceci. Soit la méthode utilisée pour cette étude n'est pas assez précise, sur l'emplacement du site modélisé par un cercle de 1km de rayon, sur les données utilisées, sur les variables choisies, etc. Soit la localisation des sites de nidification du Circaète est très variable, et ne peut s'expliquer seulement par des variables paysagères.

3.3. Bilan de l'étude

Le travail mené au cours de cette étude avait pour but d'aboutir à une modélisation et une cartographie des sites favorables à la reproduction du Circaète en France. Cependant, il n'a pas été possible d'atteindre cet objectif. Comme il a été dit précédemment, deux raisons peuvent expliquer cela. En admettant que la raison ne soit pas un problème de méthode bien que cela reste tout à fait possible, l'impossibilité de modéliser la localisation des sites de reproduction à partir de l'occupation du sol et du relief tend à montrer la grande variabilité de milieux utilisés par le Circaète pour se reproduire, non seulement à l'échelle de la France ce qui était largement connu, mais également au sein d'une zone plus restreinte et homogène telle que les gorges du Gardon.

Tout ce qui semble être primordial est la présence importante de forêts, quelle qu'en soit la nature. La diversité des milieux autour du site de reproduction semble n'avoir que peu d'importance, notamment concernant les milieux ouverts. Cela sous-entend que la proximité immédiate avec les zones de chasse ne serait pas un critère à prendre en compte. Il est difficile de tirer de conclusion quant à la présence d'ascendance thermique tant les possibilités de formation sont nombreuses et difficilement cartographiables, tout comme la quiétude.

Une chose essentielle n'a pas pu être prise en compte pour cette étude, il s'agit de la compétition entre individus, qu'elle soit intraspécifique ou interspécifique. En effet, au vu des conclusions tirées ici, il semble que le Circaète puisse s'adapter grandement en termes d'habitat, le facteur limitant quant à sa répartition n'est peut-être pas le nombre de sites favorables à sa reproduction, mais la disponibilité des ressources alimentaires.

4. Protection des sites de reproduction du Circaète : bilan, propositions et perspectives

4.1. Bilan général

L'ensemble du travail réalisé durant le stage vise à améliorer la protection du Circaète en forêt publique, en particulier sa reproduction, sans que cela soit incompatible avec les autres enjeux de la gestion forestière.

L'évaluation des prescriptions « Circaète » n'a pas permis de montrer si elles permettaient de préserver la reproduction lors d'une intervention, ni immédiatement après. En revanche, à partir des suivis réalisés en Lozère dans le Parc National des Cévennes depuis 2005, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence sur les taux de présence et de succès de la reproduction sur les 15 dernières années entre des sites situés dans des secteurs forestiers exploités ayant été protégés par une zone de quiétude lors de l'intervention, et des sites se trouvant dans des zones non-exploitées. Ceci laisse penser que l'exploitation forestière n'est pas préjudiciable à la reproduction du Circaète sur le long terme si une zone de quiétude est mise en place de mars à septembre environ 300m autour du nid.

Les entretiens menés auprès des forestiers semblent montrer que le Circaète est une espèce qu'ils apprécient, et que les mesures de protection actuellement mises en place ne posent pas de problèmes majeurs si l'information est connue suffisamment tôt. Le manque important qu'ils mettent en avant est justement l'accès à l'information. La méconnaissance des sites dans les secteurs où aucun naturaliste ne suit l'espèce et le manque de communication entre naturalistes et forestiers semblent être les principaux freins à la prise en compte du Circaète dans la gestion forestière. Face à ce constat, qui n'est pas nouveau, certaines personnes ont proposé de mettre en place une protection des sites favorables à la nidification de l'espèce sans que sa présence ne soit avérée.

Cependant, la caractérisation des sites de nidification a mis en avant la grande diversité des milieux environnant les sites de reproduction à l'échelle de la France ce qui n'est pas une surprise, mais également au sein de secteurs bien moins grands et diversifiés. Cela tend à montrer que le Circaète est peu sensible aux variables paysagères à une échelle kilométrique quant au choix de son site de reproduction. Cela signifie également qu'une protection des sites favorables à une nidification peut s'avérer difficile à mettre en place compte tenu de la large gamme de milieux occupés. Cependant, cela laisse également penser que la disponibilité en habitats de reproduction n'est peut-être pas un facteur limitant la répartition du Circaète au sein d'un même ensemble géographique.

4.2. Limites

Il n'a pas été possible d'atteindre les objectifs attendus. La crise de la COVID-19 durant laquelle s'est déroulé le stage a fortement compliqué son déroulement. En effet, les deux mois de confinement et la mise en place généralisée du télétravail ont impacté l'accès aux serveurs SIG de l'ONF. Trois mois d'attente ont été nécessaires avant d'obtenir la totalité des accès, et par conséquent la totalité des données nécessaires à la caractérisation des sites de nidification. Cette attente a réduit le temps disponible pour ce travail de moitié. De plus, les nombreux traitements des données d'occupation du sol sur SIG ont été très longs, (parfois plus de 24h pour un calcul), car les ordinateurs utilisés n'étaient pas assez puissants. Il n'a donc pas été possible d'approfondir d'avantage la modélisation faute de temps. En ce qui concerne les ACP, seules les trois premières dimensions ont été analysées, expliquant qu'une partie de l'inertie du nuage de point (40 à 60 %). Ces effets ne sont pas négligeables, mais cela implique que les résultats sont partiels et à utiliser avec précaution.

Le contexte sanitaire a également réduit la possibilité pour moi de réaliser des sorties en forêt dans le cadre du stage et m'a empêché de me confronter au suivi de la reproduction du Circaète, le confinement ayant eu lieu de mars à mai durant la période cruciale du suivi. Par conséquent, j'ai eu très peu de contact informel que ce soit avec les forestiers ou les naturalistes. Mon appréciation quant à leur vision de la protection du Circaète et ce qu'ils en attendent est donc fondé uniquement sur ce qui m'a été dit au cours d'entretiens téléphoniques, avec toutes les limites que cela peut comporter.

Malgré tout, certains résultats émergent de l'étude, et certaines propositions peuvent être faites.

4.3. Propositions

Les trois propositions qui suivent sont classées par ordre de priorité. Il est important de noter que deux d'entre-elles ne sont pas seulement à l'initiative de l'ONF et devraient probablement faire l'objet de projet commun entre l'ONF et le monde naturaliste.

4.3.1. Renforcement de la collaboration entre naturalistes et forestiers

Au vu du bilan précédent, il paraît important de concentrer les efforts sur la mise en place d'une collaboration solide entre naturalistes et forestiers. Cela est vrai non seulement pour la protection du Circaète mais pour la préservation de la biodiversité en général. Le but est d'arriver à rétablir une certaine confiance et de permettre des échanges le plus localement possible. Il pourrait donc être intéressant d'organiser au niveau de l'unité territoriale, éventuellement de l'agence si elle n'est pas trop grande, une rencontre tous les ans entre forestiers et naturalistes, pour faire un point sur d'éventuels problèmes qui ont pu survenir et pourquoi. Cela pourrait aussi être l'occasion d'évoquer la présence d'espèces rares, ou signaler quels secteurs passeront en coupe prochainement afin de s'assurer de l'absence d'espèces à fort enjeux de conservation. Ce temps d'échange pourrait être organisé lors d'un comité de pilotage d'une réserve biologique intégrale ou dirigée.

Cette collaboration doit également permettre d'améliorer la connaissance des sites de nidification des espèces, en accentuant les efforts de suivi. Cela pourrait s'envisager par la mise en place de prospections communes entre les naturalistes et les membres des réseaux naturalistes de l'ONF sur des zones pour lesquelles des interventions sont prévues à court termes.

4.3.2. Evolution des prescriptions⁴

Dans le même temps, durant les entretiens, les naturalistes ont souvent exprimé le souhait d'une protection plus forte des sites connus, notamment par la mise en place de réserves ou d'îlots de sénescence. Bien qu'il soit évident que cela serait le plus efficace pour préserver la tranquillité de l'espèce, le Circaète est en expansion en France et n'est pas menacé (voir 1.1.2). De plus, d'après les résultats issus de la caractérisation des sites de nidification, un grand nombre de milieux pourraient lui convenir. Ainsi dans une logique de hiérarchisation des enjeux la seule présence du Circaète ne me paraît pas justifier la mise en place d'une réserve. En revanche cette mesure devrait être envisagée pour des espèces bien plus fragiles telles que le Pygargue à queue blanche.

L'application des prescriptions sur l'ensemble des unités de gestion concernées n'est probablement pas à mettre de côté malgré l'absence d'engouement pour cette idée. Son principal intérêt à mes yeux est de s'affranchir du tracé d'un périmètre de quiétude, qui est un travail complexe, demandant du temps et nécessitant une réactivité importante. Cela permettrait aussi de répondre à une demande des naturalistes qui est d'avoir des périmètres de protection plus grands, et d'oublier une question à laquelle personne n'a vraiment de réponse qui est la distance minimale à maintenir calme.

4.3.3. Mise en place d'un suivi de la reproduction du Circaète

En vue d'évaluer plus finement l'efficacité des mesures de protection, il pourrait être envisageable de mettre en place un suivi de l'espèce, mené conjointement par l'ONF et les naturalistes. Pour que cela soit possible, il faudrait que le suivi réponde à certaines exigences.

Les sites ne doivent pas être choisis au hasard, des interventions sylvicoles doivent être prévues dans les années à venir, et le suivi doit pouvoir être réalisé dans de bonnes conditions. La sélection des sites doit donc être faite localement, en concertation entre naturalistes et forestiers.

Le suivi doit s'effectuer sur un nombre de sites important pour avoir un nombre de données suffisant à l'issue du suivi, en prenant bien en compte que chaque site suivi n'aboutira pas nécessairement à des données exploitables. Une centaine de sites répartie sur la France serait un minimum pour prendre en compte les différences qu'il peut y avoir entre les zones de plaine, les secteurs

⁴ Les prescriptions ont justement évolué en fin de rédaction du présent mémoire, voir la note 2 au titre 1.1.4.

montagneux ou la Méditerranée. Il est également important que le suivi s'étale dans le temps, six ou sept ans semblant être le minimum (3 années avant intervention, puis 3 années après).

Le suivi doit être homogène sur tous les sites, ainsi que l'application des prescriptions (aucun site ne pourra être choisi en Vendée par exemple compte tenu de la mise en place systématique d'un îlot de sénescence). Une fois le suivi mis en place, les prescriptions ne doivent pas évoluer.

Pour chaque année de suivi, les informations minimales à indiquer de manière parfaitement homogène sont le retour du couple sur le site, la réussite de la reproduction et la réalisation d'une intervention sylvicole. Il serait également intéressant d'être le plus rigoureux possible sur les changements d'aire. Le suivi serait d'autant plus précis s'il était possible d'identifier le stade de l'échec, lorsque c'est le cas. Cependant il n'est probablement pas judicieux de l'intégrer car très couteux en temps et difficile à connaître. Chaque intervention sylvicole devra être renseignée de manière précise :

- date de réalisation (début et fin du chantier, en précisant les éventuelles dates d'interruptions longues) ;
- nature de l'intervention (coupe d'amélioration, d'ensemencement, éclaircie, ouverture de piste/route, travaux divers et variés, débardage si les bois restent un certain temps en forêt, etc.) ;
- localisation exacte (forêt/parcelle/UG pour une intervention « surfacique », tracé GPS pour une intervention linéaire) ;
- surface du site de reproduction impactée par l'intervention (ou le linéaire) ;
- position par rapport à l'aire occupée (au-dessus, en-dessous, à niveau, sur le même versant, sur le versant opposé) ;
- présence de masques visuels ;
- prélèvement à proximité immédiate de l'aire (50m environ) ;
- distance minimale d'intervention par rapport à l'aire.

Des questions se posent également quant à la définition de l'absence du couple et du succès de reproduction. En théorie c'est très simple, mais en pratique beaucoup moins. Est-ce que le couple est réellement absent ou est-ce qu'il n'a pas été détecté ? Un jeune est vu sur le site fin août, est-ce suffisant pour considérer que la reproduction a réussi ou est-ce un jeune issu d'un autre couple qui se trouve simplement de passage ? Il est donc primordial que ces points soient clairs et toutes les personnes impliquées dans le suivi d'accord. Plusieurs passages sur le site sont nécessaires tout au long de la période de reproduction.

Entre début mars et mi-avril le but sera d'observer des comportements reproducteurs : parades, accouplements, défense de territoire, construction d'une aire, etc. Si de tels comportements sont observés c'est que le couple est présent. En revanche, l'absence de ces comportements durant cette période ne pourra suffire pour considérer que le couple est absent.

Quelques passages entre mi-mai et mi-juin seraient bienvenus soit pour localiser l'aire si la présence du couple est confirmée, soit détecter d'éventuels couples qui n'auraient pas été vu avant.

Enfin, des passages entre fin juillet et fin août sont nécessaires pour déterminer si un jeune s'est envolé. Le couple sera considéré absent si aucun comportement révélateur de la présence d'un couple n'est observé entre mars et août. La présence d'un jeune fin août sur le site ne pourra confirmer la présence d'un couple si aucun comportement reproducteur n'a été identifié préalablement. Concernant le succès de reproduction, il serait sage de ne pas prendre en compte la présence d'un jeune sur le site à partir de septembre si rien n'a laissé suggérer la présence d'un poussin avant (apports de nourriture, cri, poussin vu dans le nid lorsque c'est possible, etc.).

N'ayant pas encore vraiment fait de suivi de reproduction du Circaète moi-même, il m'est difficile d'avoir une idée précise du temps nécessaire pour réaliser ce suivi. A partir de ce que les différents naturalistes ont pu me dire lors des entretiens, 2 ou 3 passages d'environ 3 heures chacun seraient nécessaires à chaque étape.

4.4. Perceptives

En vue d'approfondir la modélisation, d'autres pistes ont été envisagées durant le stage mais n'ont pas pu être explorées. C'est le cas de l'étude de la mosaïque paysagère au sein des massifs forestiers à partir de la cartographie des différents peuplements. La structure des peuplements autour du site serait également intéressante à prendre en compte, peut-être par photo-interprétation ou à partir de données LiDAR. L'évaluation des prescriptions est également à approfondir, par exemple par la mise en place du suivi proposé précédemment, mais également en élargissant l'enquête, en étendant le panel de personnes interrogées, en particulier aux exploitants forestiers. Cette évaluation devrait peut-être cibler l'ensemble des grands oiseaux nichant en forêt.

Une méthode alternative ne nécessitant pas de connaissances fines sur la présence des espèces pourrait être de placer certains massifs forestiers sous une gestion à fort enjeux de biodiversité. En interdisant l'exploitation forestière sur l'ensemble du massif durant le printemps, la quiétude durant la période de reproduction d'une grande majorité d'espèces serait alors acquise. Cela nécessiterait également une réflexion sur l'équilibre à trouver quant aux surfaces gérées en traitement régulier et celles en traitement irrégulier, ces deux types de sylviculture étant à la fois bénéfiques à certaines espèces et néfastes à d'autres. En effet une sylviculture irrégulière favorisera des espèces très forestières ayant besoin d'un maintien permanent de l'état boisé tout en préservant un stock de gros bois permettant la nidification d'espèces de grande taille telle que le Circaète. A l'inverse, une sylviculture régulière offrira des milieux ouverts temporaires qui permettront d'accueillir des espèces de divers stades écologiques moins avancés qu'une forêt mature, comme de nombreux reptiles. La gestion forestière veillerait à maintenir un nombre conséquent de bois morts (sur-pied comme au sol) ou sénescents, tout en diversifiant au maximum les essences, résineuses comme feuillues.

Une telle gestion semble aujourd'hui impossible, ou exceptionnelle, car la vente de bois est généralement la source de revenus principale pour le propriétaire. Cependant, dans un contexte de changements globaux, d'autres sources de revenus émergent et peuvent émerger. Ainsi la production de bois peut ou pourrait ne plus être l'enjeu économique principal d'une forêt et être supplanté par la séquestration du carbone ou le maintien de la biodiversité.

Face aux incertitudes climatiques, aux dépérissements à grande échelle de certaines essences ainsi qu'à l'érosion de la biodiversité, la multiplicité des essences et des modes de gestion à l'échelle d'un même massif me semble être primordial pour espérer maintenir une forêt en place dans les années à venir.

Conclusion

Pour conclure, plusieurs points apparaissent comme important à retenir du travail mené ici.

Premièrement il semble que la gestion et l'exploitation forestière puissent être compatibles avec la protection du Circaète Jean-le-Blanc durant sa période de reproduction. Cela suppose de connaître les sites de nidification et de mettre en place des mesures de protection adéquates. La mise en place d'une zone de quiétude de mars à septembre environ 300m autour de l'aire (sans pour autant faire un cercle et en prenant en compte la topographie) semble satisfaisante au sein du Parc National des Cévennes.

Deuxièmement, les entretiens réalisés mettent en avant la nécessité d'améliorer la connaissance des sites de nidification de l'espèce ainsi que la communication entre naturalistes et forestiers indispensable à la prise en compte de l'oiseau dans la gestion.

Troisièmement, la caractérisation du paysage autour des sites de nidification à une échelle kilométrique laisse supposer que le Circaète y soit peu sensible, et qu'une grande variété de milieux puisse lui convenir tant que la surface en forêt est importante. Cela amène à penser que la disponibilité en sites favorables à sa nidification ne serait pas un frein à son expansion.

Tous ces résultats sont à prendre avec certaines précautions, et des travaux complémentaires seront nécessaires en vue de les confirmer. Au-delà des propositions qui ont pu être faite au cours de cette étude, il serait important de travailler également sur la prise en compte du Circaète en forêt privée représentant 75% de la surface forestière en France métropolitaine. La protection de l'espèce passe également par la protection de ses proies, les reptiles. C'est ici auprès du monde agricole que des travaux pourraient être menés.

Ce stage m'a offert l'opportunité d'œuvrer pour la prise en compte d'une espèce, en vue de concilier protection de la biodiversité et production à des fins économiques et il m'a ouvert les yeux sur les difficultés que cela comporte. Bien que certaines de ces difficultés soient d'ordre techniques, je ne crois pas qu'il s'agisse de la clé du problème. J'ai pu me rendre compte par moi-même de la fracture qu'il pouvait exister entre naturalistes et forestiers, par des refus de m'aider de la part de certains naturalistes parce que je travaillais pour l'ONF et par des refus de m'aider de la part de forestiers car le Circaète n'est pas une priorité. Ceci n'a fait de renforcer pour moi l'idée que la préservation de la biodiversité doit être un compromis entre protection totale et absolue, et production. Ainsi, j'aimerais finir ce rapport en disant que tout le travail réalisé ici sera vain si naturalistes et forestiers ne sont pas en mesure des réaliser des efforts pour trouver ce compromis ensemble et de se faire confiance.

Bibliographie

- ALUSSE (Isabelle). 1995 - *Concilier gestion forestière et protection des rapaces dans le Parc National des Cévennes : cas du Circaète Jean-le-Blanc* - Parc National des Cévennes – 56p.
- BRUNO (Silvio), PERCO (Fabio). 1980 - Considerazioni ecologiche ed etologiche sul biancone (*Circaetus gallicus*) – *NATURA BRESCIANA*, n°17, p124-210.
- CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE BOURGOGNE. 2011 - *Le forestier et l'oiseau* – CRPF Bourgogne - 52p.
- COMITE REGIONAL DE VOL A VOILE DE BRETAGNE – *Cours de perfectionnement au vol à voile n°1, Le vol dans l'ascendance thermique* – Consulté le 4 mai 2020- http://www.planeur-bretagne.fr/documents/formations/techniquevav/03-Cours_1-Le_vol_dans_l_ascendance.pdf
- FAHRIG (Lenore), BAUDRY (Jacques), BROTONS (Lluís), BUREL (Françoise G.), CRIST (Thomas O.), FULLER (Robert J.), SIRAMI (Clelia), SIRIWARDENA (Gavin M.), MARTIN (Jean-Louis). 2011 - Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes - *Ecology Letters*, n°14, p101–112.
- FRIEDEMANN (Guilad). 2016 - *Multidimensional differentiation in foraging resource use during breeding of two sympatric top predators* – Tel Aviv University ; George S. Wise Faculty of life sciences, Graduate School – 178p. (Thèse de doctorat)
- GÉNSBØL (Benny). 2004 - *Rapaces diurnes Europe, Afrique du Nord, Moyen-Orient* - Delachaux et Niestlé - 403p.
- INGLADA (Jordi), VINCENT (Arthur), THIERION (Vincent). 2017 - *Theia OSO Land Cover Map 2106 [Data set]*. Consulté le 10 juillet 2020, <http://doi.org/10.5281/zenodo.1048161>
- INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL. 2013 – BD CARTO Version 3.1 Descriptif de contenu – IGN, 54p.
- INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL. 2020 – BD TOPO Version 3.0 Descriptif de contenu – IGN, 364p.
- JOUBERT (Bernard). 2001 - *Le Circaète Jean-le-Blanc* - Eveil Nature, 72p.
- JOUBERT (Bernard). 2007 - *Le Circaète Jean-le-Blanc, Connaissance et protection des oiseaux : Précautions sylvicoles* - ONF, 12p.
- JOURNAUX (Ludovic). 2006 - *Analyse multispectrale d'images satellitaires et analyse multi-tableaux : application à la répartition des populations d'oiseaux et à la structure du paysage* - Université de Bourgogne ; U.F.R Sciences et Techniques, Ecole Doctorale Buffon – 264p. (Thèse de doctorat)
- LADET (Sylvie), SHEEREN (David), HERRAULT (Pierre-Alexis), FAUVEL (Mathieu). 2017 - Mesurer l'influence du paysage sur la biodiversité : démarche et mise en œuvre avec le plugin LecoS de QGIS – Dans : *Utilisation de QGIS en Télédétection* - ISTE Editions.

- LIGUE DE PROTECTION DES OISEAUX. *Généralité* – Consulté le 10 mars 2020 - http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20074
- MALAFOSSE (Jean-Pierre). 2014 - Dossier Rapaces Diurnes Le Circaète Jean-le-Blanc - *L'Oiseau Magazine*, n°116, p66-75.
- NADAL (Renaud). 2017 - 4 Années de suivis sur 30km² dans l'Aveyron, *La Plume du Circaète*, n°13-15, p2-4.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS. 2018 – *Conservation de la biodiversité dans la gestion courante des forêts publiques* – Instruction interne INS-18-T-97, 15p.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS - *Référentiel national des exigences Environnement et Sécurité* - Document interne 9200-13-GUI-SAM-051 version B.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS - *Référentiel national des prescriptions Environnement et Sécurité* - Document interne 9200-13-GUI-SAM-052 version D.
- PARC NATIONAL DES CEVENNES. 2004 - *Rapaces forestiers et gestion forestière, les cahiers techniques* - Parc National des Cévennes, 51p.
- PERTUIS (Alain). 2005 - Rapaces diurnes et gestion forestière - *Les Rendez-Vous Techniques*, n°9, 8p.
- PONTALIER (Hugo). 2019 - *Suivi de la reproduction et des populations nicheuses de rapaces en France ; Bilan 2014 à 2018* - LPO-Service Connaissance BirdLife France ; Ministère de la Transition écologique et solidaire, 17p.
- RAKOTOMALALA (Ricco). 2013 - *Comparaison de populations Test paramétrique* – Université Lumière Lyon 2 – 109p.
- RILEY (Shawn J.), DEGLORIA (Stephen D.), ELLIOT (Robert). 1999 – A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity – *Intermountain Journal of Sciences*, vol V, n°1-4, p23-27.
- SPEYBROECK (Joroen), BEUKEMA (Wouter), BOK (Bobby), VAN DER VOORT (Jan). 2018 - *Guide Delachaux des Amphibiens et Reptiles de France et d'Europe* - Delachaux et Niestlé, 432p.
- THUREL (Julien), GRENET (Axelle). 2011 - *Présentation du projet LPO/ONF 2007-2011 « Oiseaux des bois », Conservation de l'avifaune et gestion forestière - L'Aigle botté et le Circaète Jean-le-Blanc en forêt d'Orléans* - LPO/ONF, 80p.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES. *Short-toed Snake-eagle* – Consulté le 7 septembre 2020 - <https://www.iucnredlist.org/species/22734216/95078150>

Liste des contacts principaux

Un grand nombre de personnes ont été contacté au cours du stage entre les entretiens et les demandes de données de suivi. La liste ci-dessous n'est pas exhaustive, en effet il s'agit uniquement des personnes qui ont fortement contribuées à cette étude par le nombre de données conséquent mis à disposition, par leurs connaissances sur le Circaète ou les conseils qu'elles ont pu m'apporter.

NOM Prénom	Activité⁵	Structure⁶	Département
ANGLADE Jacques	Naturaliste bénévole	Ligue de Protection des Oiseaux	Gironde
ARNAUD Cédric	Naturaliste bénévole	Groupe pour la Préservation de la Faune Sud-Alpine	Alpes de Haute-Provence
BASSI Isabelle	Responsable environnement	Office National des Forêts	Gard/Hérault
BAUDAT-FRANCESCO Julien	Chargé de mission faune	Parc Naturel Régional du Lubéron	Vaucluse
BERANGER Rémy	Chargé de mission Natura 2000 Naturaliste	Communauté de Communes des Cévennes Gangeoises et Suménoises	Gard
BOISSONNEAU Vincent	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF	Office National des Forêts	Vendée
BRUGOT Rémi	Naturaliste bénévole	x	Hautes-Alpes
CHIONO Francis	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF	Office National des Forêts	Côte d'Or
DENIS Pascal	Responsable du réseau avifaune	Office National des Forêts	Haut-Rhin
DULAC Jeanne	Responsable environnement	Office National des Forêts	Bouches-du-Rhône/Vaucluse
FOURNIER Marc	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF	Office National des Forêts	Landes
FRECHET Guillaume	Chargé de mission Natura 2000 Naturaliste	Syndicat Mixte des Gorges du Gardon	Gard
FREZE Richard	Naturaliste bénévole	Conservatoire d'Espaces Naturels	Bouches-du-Rhône
GOSSMANN François	Naturaliste bénévole	Ligue de Protection des Oiseaux	Vendée
HACQUEMAND Didier	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF	Office National des Forêts	Loir-et-Cher
JOUBERT Bernard	Naturaliste bénévole, Membre fondateur du réseau Circaète	x	Haute-Loire

⁵ L'activité indiquée est par rapport au Circaète, peut s'agir d'une activité professionnelle ou bénévole.

⁶ La structure indiquée fait référence à l'activité mentionnée.

LADET Sylvie	Ingénieure en Géomatique	Dynamique et Ecologie des Paysages Agroforestiers	x
MALAFOSSE Jean- Pierre	Garde-moniteur, Naturaliste, Membre fondateur du réseau Circaète	Parc National des Cévennes	Lozère
NADAL Renaud	Responsable du réseau Circaète	Ligue de Protection des Oiseaux	Aveyron
PERTHUIS Alain	Naturaliste bénévole - ancien responsable du réseau avifaune de l'ONF	x	Loir-et-Cher
PEYROTTI Gérard	Référent local "Circaète"	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence

ANNEXES

Annexe 1 : Listes des personnes interrogées lors des entretiens	61
Annexe 2 : Guides d'entretiens	63
Annexe 3 : Tableau de synthèse des réponses aux entretiens.....	Confidentiel
Annexe 4 : Liste et description des variables calculées lors de la première approche de caractérisation des sites de nidification	78
Annexe 5 : Liste des codes utilisés pour la variable Ess	80
Annexe 6 : Protocole d'extraction des variables nécessaire à la première approche de caractérisation des sites de nidification.....	81
Annexe 7 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Gorges de Gardon.....	Confidentiel
Annexe 8 : Carte de la topographie de la zone d'étude située dans les Gorges du Gardon...	Confidentiel
Annexe 9 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Alpes de Haute-Provence	Confidentiel
Annexe 10 : Carte de la topographie de la zone d'étude des Alpes de Haute-Provence	Confidentiel
Annexe 11 : Carte de l'occupation du sol sur la zone d'étude du Médoc	Confidentiel
Annexe 12 : Carte de la topographie de la zone d'étude du Médoc	Confidentiel
Annexe 13 : Correspondance des classes d'occupation du sol définies par le CES OSO-THEIA et celles utilisées.....	91
Annexe 14 : Protocole de calcul des variables nécessaires à la deuxième approche de caractérisation des sites de nidification sur QGIS	92

Annexe 1 : Listes des personnes interrogées lors des entretiens

NOM Prénom	Métier	Structure	Département	Implication quant au Circaète
ARNAUD Cédric	Inspecteur de l'environnement	Office Français de la Biodiversité	Alpes de Haute-Provence	Suit environ 200 couples sur l'ensemble du département
BASSI Isabelle	Responsable environnement	Office National des Forêts	Gard/Hérault	Intermédiaire entre l'ONF et les naturalistes suivant l'espèce
BERANGER Rémy	Chargé de mission Natura 2000	Communauté de Communes des Cévennes Gangeoises et Suménoises	Gard	Suit l'espèce depuis un certain nombre d'année
BLANCHARD Laurent	Responsable environnement	Office National des Forêts	Hautes-Alpes	Faible
BOISSONNEAU Vincent	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Vendée	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF
BRUGOT Rémi	Entrepreneur de travaux d'espaces verts	x	Hautes-Alpes	Suit l'espèce depuis un certain nombre d'année
DENIS Pascal	Responsable du réseau avifaune	Office National des Forêts	Haut-Rhin	Responsable du réseau avifaune
DULAC Jeanne	Responsable environnement	Office National des Forêts	Bouches-du-Rhône/Vaucluse	Intermédiaire entre l'ONF et les naturalistes suivant l'espèce
FOURNIER Marc	Responsable d'Unité Territorial	Office National des Forêts	Landes	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF
FRECHET Guillaume	Chargé de mission Natura 2000	Syndicat Mixte des Gorges du Gardon	Gard	Suit environ 40 couples dans les Gorges du Gardon
FREZE Richard	Retraité - Naturaliste bénévole	Conservatoire d'Espaces Naturels	Bouches-du-Rhône	Suit l'espèce depuis un certain nombre d'année
GONOD Vincent	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute-Provence	Faible
GOSSMANN François	Naturaliste bénévole	Ligue de Protection des Oiseaux	Vendée	Fait partie du groupe de suivi du Circaète en Vendée

GREULICH Alexis	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence	Faible
GUENOT Pascal	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Gard	Faible
HACQUEMAND Didier	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Loir-et-Cher	Membre du groupe "Circaète" de l'ONF
IGIGABELLE Anne-Marie	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence	Faible
LAVANDIER Géraud	Responsable d'Unité Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence	Référent national du Groupe "Circaète" à l'ONF
MALAFOSSE Jean-Pierre	Garde-moniteur	Parc National des Cévennes	Lozère	Suit le Circaète depuis 1990, a mené un programme de baguage pendant 20 ans sur l'espèce, membre fondateur du réseau Circaète
NADAL Renaud	Responsable de réseaux de suivi de rapaces	Ligue de Protection des Oiseaux	Aveyron	Suit une dizaine de couples, responsable du réseau Circaète
PERTHUIS Alain	Retraité - ancien responsable du réseau avifaune de l'ONF	x	Loir-et-Cher	Suit une vingtaine de couples
PEYROTTI Gérard	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence	Référent local "Circaète" à l'ONF
POTART Pascal	Technicien Forestier Territorial	Office National des Forêts	Alpes de Haute- Provence	Faible

Annexe 2 : Guides d'entretiens

Les questions en bleu ne concernent que les naturalistes, en vert que les forestiers

- Informations sur la personne interrogée

- Quelle est votre activité professionnelle ? Depuis combien de temps ?
- Quels sont vos liens **personnels** avec le monde **forestier** ? **naturaliste** ?
- Pouvez-vous décrire les forêts de votre secteur (type de peuplement, essences, structures, âge, etc.) ?
- Quel type de gestion y est appliqué (traitement, rotation, etc.) ?
- Quels sont les enjeux de ces peuplements (production, protection, DFCI, sylvopastoralisme, etc.) ?

- Circaète : suivis, menaces, protection

- Le Circaète est-il présent dans certaines forêts de votre secteur ? Si oui, dans quel type de forêt (essences, structure, âge, traitement sylvicole) ?
- Connaissez-vous l'état et l'évolution des populations de Circaète dans le secteur ? En France ?
- Pouvez-vous décrire les forêts où niche le Circaète dans ce secteur ? Que savez-vous de la gestion qui y est appliquée ?
- Combien de sites de nidification suivez-vous ?
- Quelles méthodes de suivi utilisez-vous ? Quels types de données relevez-vous ?
- L'ensemble de ces informations/données sont-elles exhaustives selon vous ?
- Dans un monde idéal, comment voudriez-vous réaliser vos suivis (méthodes, données récoltées, temps passé, etc.) ?
- En réalité, qu'est ce qui contraint vos suivis ?
- Par rapport à ces suivis, que pouvez-vous dire quant à l'état et l'évolution des populations de Circaète localement ? Pensez-vous que cela est identique au niveau national ?
- Selon vous, quelles sont les principales menaces pour Circaète dans le secteur ? en France ?
- Est-il nécessaire de protéger le Circaète ? Si oui, de quoi ? Sinon, pourquoi ?
- Quelle est la période de sensibilité au dérangement du Circaète ?
- Quelles sont les principales causes de dérangement ?
- Quelles peuvent être les conséquences d'un dérangement ?
- Selon vous, quelle distance avec l'aire est-il nécessaire de maintenir calme ?
- Quelles sont les mesures mises en place par l'ONF ?
- En êtes-vous satisfait ? Pourquoi ? Qu'est-ce qui est positif/négatif ?
- Sont-elles appliquées systématiquement ? Sinon, pourquoi ?
- Quelles sont les contraintes engendrées en termes de gestion forestière ?
- En s'affranchissant des mesures actuelles, quelle stratégie de protection proposeriez-vous ?
- Un rayon de 200m autour de l'aire vous semble-t-il acceptable pour préserver la tranquillité du Circaète ?
- Pensez-vous qu'il serait envisageable d'appliquer la clause « Circaète » sur l'ensemble de l'Unité de Gestion comprenant la zone de nidification du rapace ?
- Et si la zone de nidification est à cheval sur 2 voire 3 unités ?
- Y a-t-il des adaptations ou des travaux localement pour améliorer la conciliation des enjeux de protection du Circaète avec les autres enjeux de la gestion forestière ?
- Quelles mesures pourraient être à mettre en place/améliorer ? Comment ? Par qui ?

- Le Circaète et les autres espèces

- A quelles autres contraintes environnementales êtes-vous soumis (sols sensibles, autres espèces protégées, etc.) ? Comment la protection du Circaète s'intègre-t-elle dans ces diverses contraintes ?
- Le Circaète est-il plus ou moins sensible au dérangement que les autres rapaces forestiers ? **Par rapport à l'aigle botté en particulier ?**
- Les mesures pour le Circaète vous semblent-elles compatibles/cohérentes avec celles concernant les autres espèces ?
- Est-il souhaitable de faire une unique clause applicable à tous les rapaces forestiers ?

- Le monde forestier quant au Circaète

- Comment est abordé la prise en compte du Circaète au sein de votre UT/agence ?
- Est-ce un sujet de discussion fréquent au sein de votre service ? et entre les services ?
- Y a-t-il eu des actions de sensibilisation auprès des agents (information sur l'espèce, sortie découverte, etc) ?
- Pensez-vous que tous les forestiers de l'ONF ont toutes les informations nécessaires à la prise en compte du Circaète ? Sinon, que leur manque-t-il ?
- Interagissez-vous avec les **forestiers/naturalistes** ? Si oui, dans quel but ? Sinon, pourquoi ?
- **Quelle est la position des communes quant à la protection du Circaète dans leurs forêts ?**
- Avez-vous connaissances de sites en forêt privée ? Comment cela est pris en compte ? Les propriétaires et gestionnaires en sont-ils informés ?
- D'après vous, sur quoi faudrait-il communiquer davantage ?
- Quels sont les autres acteurs impliqués dans la protection du Circaète ?
- Comment sont vos relations avec ces acteurs ?
- Qu'attendez-vous d'eux ?

Annexe 3 : Tableau de synthèse des réponses aux entretiens

CONFIDENTIEL

Annexe 4 : Liste et description des variables calculées lors de la première approche de caractérisation des sites de nidification

Variable	Description	Unité	Données sources
Site	Identifiant unique de chaque PMS	x	x
phytogeo	Entité phytogéographique dans laquelle se trouve le site	x	IGN (libre d'accès)
GRECO	GRECO dans lequel se trouve le site	x	IGN (libre d'accès)
Expo	Exposition au PMS, en 8 catégories (Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest)	x	MNT au pas de 25m de la BDalti version 2015 de l'IGN
FRT	Type de peuplement forestier au PMS	x	BDforêt version 2 de l'IGN
Ess	Essence principale du peuplement au PMS	x	BDforêt version 2 de l'IGN
Alti	Altitude au PMS	mètre	MNT au pas de 25m de la BDalti version 2015 de l'IGN
Pente	Pente au PMS	degré	MNT au pas de 25m de la BDalti version 2015 de l'IGN
Surf_ZN	Surface du peuplement où se trouve le PMS	mètre carré	BDforêt version 2 de l'IGN
Perim_ZN	Périmètre du peuplement où se trouve le PMS	mètre	BDforêt version 2 de l'IGN
Ath05S, Ath10S, Ath15S et Ath20S	Surface de zone anthropique sur un rayon de 500, 1 000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Brs05S, Brs10S, Brs15S et Brs20S	Surface de broussailles sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Fr05S, Frt10S, Frt15S et Frt20S	Surface de forêt sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Mxh05S, Mhx10S, Mhx15S et Mhx20S	Surface de milieux aquatiques sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN

Variable	Description	Unité	Données sources
Pri05S, Pri10S, Pri15S et Pri20S	Surface de prairies, pelouses ou grandes cultures sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Roc05S, Roc10S, Roc15S et Roc20S	Surface de surfaces rocheuses sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Vrg05S, Vrg10S, Vrg15S et Vrg20S	Surface de vignes ou vergers sur un rayon de 500, 1000, 1500 et 2000m autour du PMS	mètre carré	BDcarto version 2012 de l'IGN
Rug_1 à Rug_8	Surface par classe de rugosité (1 à 8) 500m autour du PMS	mètre carré	MNT au pas de 25m de la BDalti version 2015 de l'IGN
Route_1 à Route_3	Linéaire de route (des catégories 1 à 3) visible à 15m au-dessus du PMS, sur un rayon de 500m	mètre	BDtopo version 2019 de l'IGN et MNT au pas de 25m de la BDalti version 2015 de l'IGN

Annexe 5 : Liste des codes utilisés pour la variable Ess

Code	Essence
ABIES	Sapin pectiné
CASSA	Châtaignier commun
Conif	Conifères
FAGSY	Hêtre commun
Feuil	Feuillus
LARDE	Mélèze d'Europe
Mixte	Mixte
NC	Non concerné
NR	Non renseigné
PINHA	Pin d'Alep
PINNI	Pin noir
PINPI	Pin maritime
PINSY	Pin sylvestre
PINUS	Pins
QUEIL	Chêne vert
QUERC	Chênes décidus

Annexe 6 : Protocole d'extraction des variables nécessaire à la première approche de caractérisation des sites de nidification

L'extraction des données à partir des PMS est réalisée sous QGIS, 5 fichiers sont attendus en sortie :

- « **aire_mnt_ZE** » contenant les données d'altitude, de pente et d'exposition ;
- « **rug_ZE** » contenant la surface de chaque classe de rugosité ;
- « **occsol500m_2km_ZE** » contenant les surfaces de chaque type d'occupation du sol sur les 4 rayons ;
- « **routeview_ZE** » contenant le linéaire de routes visibles pour chaque type de route ;
- « **aire_ZNBDf_ZE** » contenant les données issues de la BDforêt.

Cette extraction est réalisée sur 10 zones d'études (ZE) :

- aquit : Landes, Gironde et Dordogne ;
- aura : Isère, Savoie, Haute-Loire ;
- bourg : Côte d'Or (**Attention sites en limite avec la Saône-et-Loire**) ;
- bret : Finistère ;
- cent : Cher, Loir-et-Cher, Loiret, Indre-et-Loire ;
- char : Charente-Maritime et Vendée ;
- ilefr : Seine-et-Marne ;
- lim : Corrèze ;
- occit : Aveyron, Gard, Hérault et Lozère ;
- paca : Alpes de Haute-Provence, Hautes-Alpes, Var, Vaucluse et Bouches-du-Rhône (**Attention sites en limite avec les Alpes Maritimes**).

En cas de sites en limite de département, il est important d'intégrer les couches SIG contenant les données à extraire sur ce département.

Une fois qu'un des 5 fichiers est prêt pour les 10 zones d'études, les 10 fichiers sont fusionnés avec « *Fusionner des couches vecteurs* ».

Une mise en forme sur Excel est nécessaire avant de traiter les données.

Les PMS des sites de chaque zone d'étude sont contenus dans le fichier shapefile « **aire_ZE** ».

Extraction des données issues du MNT

Etape 1 : Découper le MNT selon l'emprise départementale

- A partir de la couche « **DEPARTEMENT** » de la BDAadmin de l'IGN (libre), sélectionner le département d'étude dans la table attributaire, puis faire « *Exporter les entités sélectionnées* », la couche « **perim_dep** » est ainsi obtenue ;
- Découper le MNT avec l'outil « *Découper un raster selon une couche de masque* », la couche de masque étant « **perim_dep** », le fichier obtenu est « **MNTdep_25m_dec** ».

Etape 2 : Fusionner les MNT si la zone d'étude comporte plusieurs départements pour obtenir le raster « **MNT_ZE** » à partir de l'outil raster « *Fusionner* »

Etape 3 : Calculer les rasters Pente et Exposition à partir du raster « MNT_ZE »

- Le raster « **Pente_ZE** » est calculé à partir de l'algorithme « *Pente* » ;
- Le raster « **Expo_ZE** » est calculé à partir de l'algorithme « *Exposition* ».

Etape 4 : Extraction des valeurs d'altitudes, de pentes et d'expositions

- Utiliser l'outil « *Prélever des valeurs rasters* » avec comme fichiers d'entrées la couche « **aire_ZE** » contenant les points situant les sites de nidification, et « **MNT_ZE** », le fichier en sortie « **aire_alti** » ;
- Utiliser les fichiers « **aire_alti** » et « **Pente_ZE** » comme entrée pour extraire les valeurs de pente à l'aide du même algorithme, créant le fichier « **aire_pente** » ;
- Utiliser de nouveau de le même algorithme avec le raster « **Expo_ZE** » et le fichier « **aire_pente** » et enregistrer le fichier de sortie « **aire_mnt_ZE** » ;
- Exporter le fichier au format .xlsx .

Etape 5 : Extraction des indices de rugosité

- A partir du raster « **MNT_ZE** » utiliser l'algorithme « *Index de rugosité* » pour obtenir le raster « **Rugo_ZE** » ;
- Utiliser le script R ci-dessous pour reclassifier le raster et obtenir le raster « **Rugo_ZE_cl** » ;

```
#### Traitement des rasters de rugosité
#Import des librairies nécessaires
library(raster)
library(rgdal)

#Définition de l'espace de travail
repl = "F:/StageCirca/SIG/Etude_paysage"
setwd(repl)

#Import du raster à reclassifier
Rugo <- raster("rug_1km_GIR.tif")

# reclassification
Rugo1 <- cut(Rugo, breaks = c(0,2,3,4,6,12.5,25,50,100))

#enregistrement du raster reclassifié
writeRaster(Rugo1,"F:/StageCirca/SIG/Etude_paysage/rug_GIR_cl.tif")
```

- A partir du fichier « **aire_ZE** » créer une zone tampon de 500m autour des points en utilisant l'algorithme « *Tampon* », le fichier obtenu est « **buf500m_ZE** » ;
- Découper le raster « **Rugo_ZE_cl** » avec l'algorithme « *Découper un raster selon une couche de masque* », la couche de masque étant « **buf500m_ZE** ». Le fichier obtenu est « **Rugo_ZE_dec** » ;
- Vectoriser le raster « **Rugo_ZE_dec** » avec l'algorithme « *Polygoniser (raster vers vecteur)* » pour obtenir le fichier « **Rugo_ZE_vect** » ;
- Réparer les géométries du fichier « **Rugo_ZE_vect** » à l'aide de l'algorithme « *Réparer les géométries* » pour obtenir le fichier « **Rugo_ZE_rep** » ;
- Intersecter les fichiers « **buf500m_ZE** » et « **Rugo_ZE_rep** » à l'aide de l'algorithme « *Intersection* » ;

- A partir du fichier obtenu de l'intersection, utiliser l'algorithme « Regrouper », pour fusionner les lignes d'un même site ayant la même valeur de classe de rugosité pour obtenir le fichier « **rug_ZE** » ;
- Dans la table attributaire du fichier « **rug_ZE** » calculer un nouveau champ « S_rugo » correspondant à la surface de chaque entité (*\$area*).
- Exporter le fichier au format .xlsx .

Extraction des données d'occupation du sol

- Utiliser l'algorithme « *Tampon multi-anneaux (distance constante)* » avec la couche d'entrée « **aire_ZE** », fixer le nombre d'anneaux à 4, avec une distance entre anneaux de 500m. Enregistrer le fichier « **buf500m_2km_ZE** »
- Fusionner les couches d'occupations du sol issue de la BDcarto version 2012 des différents départements concernés par la zone d'étude à l'aide de l'algorithme « *Fusionner des couches vecteurs* » et enregistrer le fichier « **occupsol_ZE** » ;
- Intersecter les fichiers « **buf500m_2km_ZE** » et « **occupsol_ZE** » à l'aide de l'outil « *Intersection* » (**temps de calcul très long**) et enregistrer le fichier « **occsol_tempo1_ZE** » ;
- A partir du fichier « **occsol_tempo1_ZE** », regrouper les entités d'un même site, d'un même rayon et de la même nature d'occupation du sol à partir de l'algorithme « *Regrouper* » et enregistrer le fichier « **occsol500m_2km_ZE** » ;
- Dans la table attributaire du fichier « **occsol500m_2km_ZE** », calculer un nouveau champ « Surface » (*\$area*) (**temps de calcul très long**) ;
- Exporter le fichier au format .xlsx .

Extraction des données issues de la BDforêt version 2

- Fusionner les couches de la BDforêt des différents départements concernés par la zone d'étude à l'aide de l'algorithme « *Fusionner des couches vecteurs* » et enregistrer le fichier « **BDforetV2_ZE** » ;
- Calculer deux nouveaux champs « Surf_ZN » (*\$area*) et « Perim_ZN » (*\$perimeter*) (**temps de calcul très long**) ;
- Intersecter les fichiers « **aire_ZE** » et « **BDforêtV2_ZE** » avec l'algorithme « *Intersection* » et enregistrer le fichier « **aireZNBDf_ZE** » (**temps de calcul très long**) ;
- Exporter le fichier au format .xlsx .

Calcul du linéaire de route visible 15m au-dessus du PMS

Etape 1 : Délimiter les zones visibles 15m au-dessus du PMS

- Installer le plugin « Visibility analysis » de QGIS ;

- Le fichier « **aire_ZE** » a une géométrie 'multi-point', mais l'algorithme utilisé en suite nécessite une géométrie 'point', l'outil « convertir le type de géométrie » ne fonctionne pas dans ce cas, il faut donc utiliser l'algorithme « centroïde » (ceci est possible car chaque entité n'est formée que d'un seul point malgré la géométrie 'multi-point', le centroïde du point reste donc le même point), enregistrer le fichier « **aire_ZE_c** » ;
- Utiliser l'algorithme « *Create viewpoint* » du plugin avec pour fichiers d'entrées « **aire_ZE_c** » et « **MNT_ZE** », fixer le rayon d'analyse à 500m et la hauteur d'observation à 15m. Enregistrer le fichier « **viewpoints_ZE** » ;
- Utiliser l'algorithme « *Viewshed* » avec pour fichiers d'entrées « **viewpoints_ZE** » et « **MNT_ZE** ». Sélectionner '*binary viewshed*', ne pas prendre en compte l'incurvation de la Terre, laisser l'indice de réfraction atmosphérique à 0,13. Pour '*Combining multiple outputs*' sélectionner '*Maximum*'. Enregistrer le raster « **view_ZE** », la valeur 1 signifie que la zone est visible, 0 non ;
- De la même manière que réalisé précédemment pour la rugosité, vectoriser « **view_ZE** » puis réparer sa géométrie, enregistrer le fichier « **view_ZE_rep** » ;
- Intersecter « **view_ZE_rep** » avec le fichier « **buf500m_ZE** » créé lors de l'extraction de la rugosité et enregistrer le fichier « **bufview_ZE** »
- Fusionner les fichiers contenant les tracés des routes issus de la BDtopo version 2019 de chaque département et enregistrer le fichier « **route_ZE** » ;
- Intersecter les fichiers « **route_ZE** » et « **bufview_ZE** », enregistrer le fichier « **route_tempo1_ZE** » (**temps de calcul très long**) ;
- Dans la table attributaire du fichier « **route_tempo1_ZE** », supprimer les tronçons de routes non visibles, puis regrouper les tronçons visibles d'un même site et d'une même nature. Enregistrer le fichier « **routeview_ZE** » ;
- Dans la table attributaire du fichier « **routeview_ZE** » calculer un nouveau champ « LongRt » (*\$length*) ;
- Exporter le fichier au format .xlsx .

Annexe 7 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Gorges du Gardon

Annexe 8 : Carte de la topographie de la zone d'étude située dans les Gorges du Gardon

Annexe 9 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude des Alpes de Haute-Provence

Annexe 10 : Carte de la topographie de la zone d'étude située dans les Alpes de Haute-Provence

Annexe 11 : Carte d'occupation du sol sur la zone d'étude du Médoc

Annexe 12 : Carte de la topographie de la zone d'étude du Médoc

CONFIDENTIEL

Annexe 13 : Correspondance des classes d'occupation du sol définit par le CES OSO-THEIA et celles utilisées

<i>Classification originale</i>		<i>Reclassification</i>	
Classe	Valeur Raster	Valeur Raster	Classe
no data	0	0	no data
bâtis denses	1		
bâtis diffus	2		
zones industrielles et commerciales	3		
routes	4	1	grandes cultures
colza	5		
céréales à pailles	6		
protéagineux	7		
soja	8		
tournesol	9		
maïs	10		
riz	11	2	prairies
tubercules, racines	12		
prairies	13	3	vignes et vergers
vergers	14		
vignes	15	4	forêts de feuillus
forêts de feuillus	16		
forêts de conifères	17	5	forêts de conifères
pelouses	18		
landes ligneuses	19	6	pelouses
surfaces minérales	20		
plages, dunes	21	7	landes ligneuses
glaciers, neige	22		
eau	23	8	surfaces minérales
		9	sable
		0	no data
		10	eau

Annexe 14 : Protocole de calcul des variables nécessaires à la deuxième approche de caractérisation des sites de nidification sur QGIS

Ce protocole est à répéter pour chacune des 3 zones d'études.

Les PMS des sites de nidification de chaque zone d'étude sont contenus dans le fichier « **PMS_ZE** »

Etape 1 : Délimitation des sites de nidification

Avec l'algorithme « Tampon » tracer une zone tampon de 1000m autour des PMS avec le fichier d'entrée « **PMS_ZE** ». Enregistrer le fichier « **site1_ZE** ».

Etape 2 : Tracer de la zone d'étude

- Avec l'outil « *Tampon* », tracer une zone tampon de X km ($X = 8$ à 12 selon la zone d'étude) autour des PMS de façon à ce que l'ensemble de la surface se trouvant délimitée par les PMS les plus externes soit couverte ;
- Regrouper les zones tampons créées précédemment en un seul polygone avec l'algorithme « *Regrouper* ». Enregistrer le fichier « **S1_ZE** » ;
- Extraire le contour de « **S1_ZE** » avec l'algorithme « *Convertir le type de géométrie* », choisir le type 'ligne'. Enregistrer le fichier « **Perim1_ZE** » ;
- Créer une zone tampon de Y km autour du fichier « **Perim1_ZE** » tel que $X - Y = 4$;
- Soustraire la zone tampon précédente au fichier « **S1_ZE** » avec l'algorithme « *Différence* ». Enregistrer le fichier « **zone_etude_ZE** » ;
- Extraire le contour de « **zone_etude_ZE** » et enregistrer le fichier « **contour_ZE** » ;

Etape 3 : Génération des sites « zéro »

- Tracer une zone tampon d'1km autour des sites de nidification (fichier « **site1_ZE** »), soustraire ces zones au fichier « **zone_etude_ZE** ». Enregistrer le fichier « **zone_zero_T1_ZE** » ;
- Pour les Alpes de Haute-Provence, faire de même avec le fichier contenant les périmètres de protection potentielle proposés par Cédric Arnaud sur les sites où l'emplacement de l'aire n'est pas connu ;
- Tracer une zone tampon d'1km autour du fichier « **contour_ZE** » et la soustraire au fichier « **zone_zero_T1_ZE** ». Enregistrer le fichier « **zone_zero_ZE** » ;
- Générer aléatoirement autant de points que de sites de nidification au sein de la zone d'étude à partir de l'algorithme « *Points aléatoires à l'intérieur des polygones* » avec « **zone_zero_ZE** » comme fichier d'entrée. Spécifier une distance minimale de 2km entre chaque point. Tracer une zone tampon d'1km autour de chaque point. Enregistrer le fichier « **site0_ZE** » ;
- Fusionner les fichiers « **site0_ZE** » et « **site1_ZE** ». Enregistrer le fichier « **site_tot_ZE** ».

Etape 4 : Créer la couche d'occupation du sol sur la zone d'étude

- Découper le fichier raster d'occupation du sol sur l'ensemble de la France pour ne garder que la zone d'étude à l'aide de l'algorithme « *Découper un raster selon une couche de masque* » ;

- Utiliser la calculatrice raster pour reclassifier le fichier obtenu à l'étape précédente à l'aide du script ci-dessous et enregistrer le fichier « **OSO_ZE** » (le raster à reclassifier est Découpé(masque)) :

```
("Découpé (masque)@1" < 5 OR "Découpé (masque)@1" = 22 OR "Découpé (masque)@1" > 23)*0
+ ("Découpé (masque)@1" >= 5 AND "Découpé (masque)@1" <= 12)*1 + ("Découpé (masque)@1" =
13)*2 + ("Découpé (masque)@1" = 14 OR "Découpé (masque)@1" = 15)*3 + ("Découpé (masque)@1"
= 16)*4 + ("Découpé (masque)@1" = 17)*5 + ("Découpé (masque)@1" = 18)*6 + ("Découpé
(masque)@1" = 19)*7 + ("Découpé (masque)@1" = 20)*8 + ("Découpé (masque)@1" = 21)*9 +
("Découpé (masque)@1" = 23)*10
```

Etape 5 : Calculer les variables paysagères pour chaque site

- Installer le plugin LecoS de QGIS ;
- Utiliser l'algorithme « Polygon batch overlay » avec les fichiers entrées « **OSO_ZE** » et « **site_tot_ZE** » pour calculer les variables souhaitées (**temps de calcul extrêmement long**).

Etape 6 : Calculer les autres variables nécessaires selon le protocole présenté en Annexe 6