



Direction Régionale de l'Environnement
CORSE

CHOIX DE L'HABITAT PAR LA SITTELE CORSE DANS LES FORETS DE PRODUCTION

**PASCAL VILLARD¹, AURELIEN BESNARD¹, ROGER PRODON¹
ET JEAN-CLAUDE THIBAUT²**

¹ Biogéographie et Écologie des Vertébrés (École Pratique des Hautes Études), UMR 5175, CEFÉ, 1919 route de Mende, F-34293 Montpellier cedex 5

² Parc naturel régional de Corse, rue Major Lambroschini, B.P. 417, F-20184 Ajaccio

**Etude co-financée par la DIREN de Corse
dans le cadre du plan de restauration
approuvé par le CNPN en novembre 2001**

(commande DIREN N° 348 du 31/05/2005)



E. P. H. E. – N. E. B.

Résumé

Dans les forêts de pins laricio, les zones strictement protégées et possédant un habitat convenant aux sittelles corses représentent une très faible superficie. C'est pourquoi, il apparaît nécessaire de préciser les facteurs-clés de la structure de l'habitat de cet oiseau en forêt de production pour définir les pratiques d'une gestion forestière durable, compatible avec des impératifs de conservation. Le présent rapport analyse les critères de la sélection de l'habitat par la sittelle corse sur la base d'un échantillonnage mesurant les variables de structure forestière à une échelle pertinente par rapport à la taille du territoire de l'oiseau. Au cours de 370 heures de prospection, les individus territoriaux et les sites de nidification ont été systématiquement recherchés dans les forêts d'Aitone et Valdoniellu au printemps 2005, au moment du forage des loges et de la reproduction. Ensuite, des points "sans sittelle" ont été tirés au hasard en nombre égal à celui des sites de nids à l'aide d'un SIG. Sur chaque point – nid de sittelle ou point sans sittelle – trois sous-placettes circulaires ont été définies. Sur chacune, nous avons mesuré le nombre des arbres, leur diamètre et les distances qui les séparent, et noté l'essence. Les données ont été analysées par analyse discriminante et régressions logistiques. Il apparaît que le diamètre des laricios sur un territoire de sittelle doit être supérieur à 50 cm. L'habitat est défavorable à l'espèce pour des diamètres inférieurs. Il est favorable ou neutre avec des pins dont le diamètre est de 60-80 cm. Il devient nettement favorable lorsque les pins ont un diamètre supérieur à 80 cm (« gros bois »). Différentes recommandations en sont déduites en matière de gestion forestière, dans un sens favorable aux vieux peuplements.

1. Introduction

La présente étude de la sélection de l'habitat par la Sittelle corse s'inscrit dans la mise en oeuvre du plan de restauration de cette espèce mis en place par le MEDD et validé par le Conseil National de la Protection de la Nature le 23 janvier 2001 (Chapitre 2.1.2. : « Actions sur l'habitat »).

Toute gestion forestière implique des actions à long terme (Dubourdiou 1997), dépassant largement le pas de temps d'une génération humaine. C'est particulièrement vrai pour les conifères. On est donc ici confrontés ici à une échelle de temps bien différente de celle nécessaire à la gestion conservatoire de zones humides ou de prairies, pour lesquelles les résultats attendus interviennent en quelques années ou quelques dizaines d'années au plus (Perennou 1996). Or si dans les années 1970 et 1980, les recherches en écologie appliquées à la conservation et à la gestion des zones humides ont beaucoup progressé, cela n'a pas été le cas des recherches en écologie forestière, qui ont essentiellement porté sur la sylviculture et très rarement sur la conservation. Mais la situation évolue puisque ce type de recherches est désormais considéré comme une priorité européenne (Andersson *et al.* 2000).

Les coupes forestières ont un fort impact sur la composition des avifaunes (Mannan & Meslow 1984). Dans les pays développés des latitudes moyennes, le rajeunissement des forêts s'effectue en général sans diminution des superficies boisées. Mais en changeant les structures, ce rajeunissement a néanmoins un impact négatif sur les espèces nécessitant des peuplements matures et âgés soit pour des questions de ressources alimentaires, soit pour la disponibilité en cavités pour la reproduction (Zarnowitz & Manuwal 1985, Imbeau *et al.* 2001). C'est ainsi que certaines pratiques de régénération forestière ont de forts impacts sur plusieurs espèces d'oiseaux comme le grand tétras (*Tetrao urogallus*) (Klaus & Bergmann 1994), le pic tridactyle (*Picoides tridactylus*) (Vaïsanen *et al.* 1986), ou encore la chouette tachetée (*Strix occidentalis*), espèce américaine complètement dépendante à la fois des forêts matures (North *et al.* 1999) et des forêts avec un fort recouvrement de la canopée (Ganey *et al.* 1998). Les perturbations, incendies ou coupes forestières, ont également des conséquences sur les populations d'oiseaux qui peuvent réoccuper les forêts boréales après perturbation après un délai variable selon l'écologie des espèces (Schieck & Hobson 2000).

La sittelle corse (*Sitta whiteheadi*) (que nous appellerons par la suite sittelle) est l'un des rares oiseaux endémiques à l'Europe. Elle possède une niche-habitat très étroite, étant très dépendante des forêts de pin laricio (*Pinus nigra laricio*). Sa présence nécessite un peuplement où les pins laricio sont majoritaires et ont un fort diamètre (Thibault *et al.* 2006). Sa population qui est en déclin est estimée à moins de 2 500 couples reproducteurs, répartis sur une zone très morcelée dont la superficie ne dépasse pas quelques milliers d'hectares (Thibault, en préparation). C'est une espèce vulnérable aux modifications de son habitat, qu'il s'agisse des incendies (Prodon 2002, Thibault *et al.* 2004) ou de l'exploitation forestière. L'exploitation commerciale préférentielle des grands pins dont le bois présente une haute valeur commerciale paraît a priori susceptible d'entrer en conflit avec les impératifs de conservation de l'espèce. La superficie cumulée des zones de « séries écologiques », des zones « hors cadre » dans les forêts soumises, et enfin des zones ne faisant pas l'objet d'exploitation dans les forêts privées, est insuffisante pour assurer sa conservation (en préparation). De plus, même dans ces zones, les forêts ne présentent pas toujours la qualité

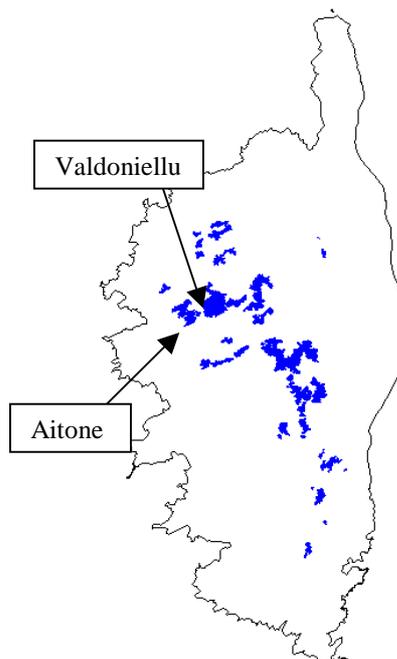
correspondant aux exigences strictes des sittelles car ce sont bien souvent des peuplements sur rochers ou des peuplements très clairs. Il en résulte (i) que la gestion conservatoire de la sittelle corse doit considérer en priorité les forêts soumises à exploitation, (ii) qu'il est nécessaire d'identifier avec précision les facteurs-clés de la structure forestière de l'habitat de cet oiseau, (iii) qu'il faut féfinir les pratiques d'une gestion forestière durable compatible avec des impératifs de conservation. Sachant que le degré de maturité d'un peuplement forestier joue un grand rôle dans la sélection de l'habitat par la sittelle (Thibault et al. 2006), nous avons focalisé notre attention sur la structure de taille précise des peuplements. Le présent rapport présente donc les résultats d'une étude de la sélection de son habitat par la sittelle corse effectuée dans deux forêts de production, et tente d'apprécier les conséquences de l'exploitation forestière sur sa répartition et de dégager quelques principes d'une gestion des pinèdes de laricio adaptée à la conservation de cette remarquable espèce endémique.

2. Méthodes

2. 1. Sites d'étude

La présente étude a été réalisée dans deux massifs forestiers, les forêts territoriales de Valduniellu et Aitone respectivement situées en Haute-Corse et en Corse-du Sud. Séparées artificiellement par les « pâturages » du col de Vergio, ces deux forêts appartenaient à un même bloc forestier. En raison de la bonne croissance des arbres et de la rectitude des troncs, elles sont parmi les forêts les plus anciennement exploitées en Corse pour le bois d'œuvre, et ce au moins depuis l'époque génoise (Bourcet 1996, Rota & Cancielleri 2001). La Figure 1 indique la situation des deux forêts, et le Tableau 1 donne des informations générales les concernant.

Figure 1. Localisation des deux sites d'études au sein des forêts de pins laricio (d'après IFN 1988).



La gestion forestière s'y traduit par une succession d'interventions dans des parquets d'une dizaine d'hectares. La révolution classique implique successivement (i) une *coupe d'éclaircie* qui fait diminuer la densité des tiges, assurant une meilleure pénétration de la lumière, (ii) une *coupe d'ensemencement* après laquelle la densité des tiges est faible (l'aspect est celui d'un vaste chablis avec de grandes clairières), ce qui permet aux graines de germer, (iii) la *coupe définitive* (= de *régénération*), qui supprime les derniers gros brins, et qui est pratiquée quand la régénération a commencé. Dans certains aménagements, on laisse quelques « réserves », c'est à dire des arbres matures productifs en cônes destinés à apporter un complément de graines donc de germinations, mais cette pratique est loin d'être la règle.

Tableau 1. Caractéristiques des sites d'études et des méthodes d'exploitation (Anon. 1992 a et b)

Données	Valdoniellu	Aitone*
Diamètre d'exploitabilité	70 cm	65-70 cm
Age d'exploitabilité	240 ans**	165 ans
Superficie série « production »	1 878,50 ha	1 605 ha
Superficie série « protection »	876,50 ha	
Superficie série « protection-production »		789,58 ha
Superficie série « accueil du public »		8 ha
Méthode d'aménagement	Futaie régulière	Futaie régulière

* révisé pour la période 1992-2006, ** donnée moyenne adoptée par l'aménagiste pour tenir compte des différences de croissance entre les deux principales parties de la forêt de production.

2. 2. Les relevés de terrain

Notre échantillonnage a été conçu de façon à mesurer les variables environnementales, c'est-à-dire les variables de structure forestière, à une échelle pertinente par rapport à la taille de l'oiseau, ou plus exactement à la taille de son territoire.

2.2.1. Les points avec sittelle

Moyennant 370 heures de prospection, les oiseaux territoriaux et les sites de nidification ont été recherchés au printemps, du 8 avril au 3 mai 2005 en forêt d'Aitone (191 heures de prospection), et du 5 au 27 mai en forêt de Valdoniello (179 heures de prospection), c'est à dire au moment du forage des loges, de l'incubation et de l'élevage des jeunes (Thibault & Villard 2005). La localisation des sittelles s'est faite par l'écoute des chants, des cris, et des bruits de percussion des troncs par le bec lors de l'excavation des cavités. La méthode dite de la « repasse » (avec utilisation d'un magnétophone pour diffuser les cris et chants de l'espèce) n'a pas été employée, afin de ne pas risquer de provoquer des déplacements d'individus de territoires voisins. Les nids et les contacts avec des oiseaux territoriaux ont été localisés par un GPS (Global Positioning System) de type *Garmin Summit*, puis reporté sur un SIG (Système d'Informations Géographiques) (logiciel *Arcview*, version 3.2). Les descriptions de placettes "avec sittelle" (voir ci-après) ont été effectuées exclusivement sur les sites de nids.

2.2.2. Les points sans sittelle

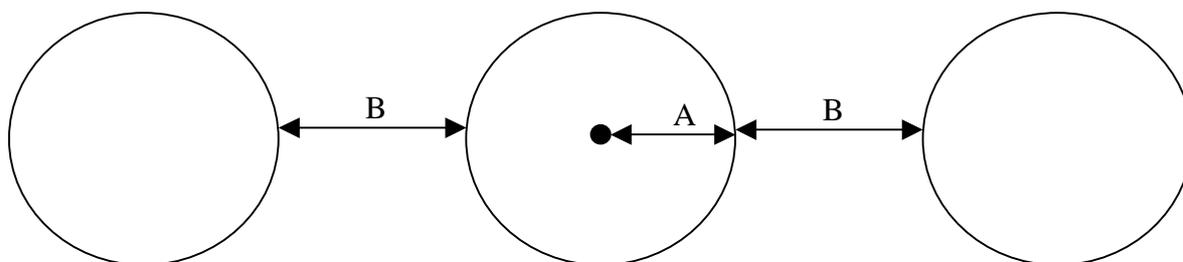
Des points "sans sittelle" ont été tirés au hasard en nombre égal à celui des sites de nids à l'aide d'un SIG selon la procédure suivante. Une grille à mailles carrées de 180 m de côté a été superposée à la carte numérisée des massifs forestiers. Ensuite, un cercle de 180 m de

rayon (soit approximativement le rayon d'un territoire moyen de sittelle) a été tracé autour de chaque site de nid découvert et de chaque contact avec une sittelle territoriale. Tous les carrés présentant un chevauchement (total ou partiel) avec un de ces cercles ont été exclus. Sur tous les carrés restants, où aucune sittelle n'a été contactée, on a tiré au hasard un nombre de points égal au nombre de nids découverts. Le logiciel fournissant les coordonnées géographiques du centre de chacun des points aléatoires, il s'agissait ensuite de se rendre sur ces différents points en suivant les indications du GPS. Les mêmes mesures ont été effectuées sur les sites de nid et sur les points tirés au hasard. Il est arrivé que des sittelles soient contactées ultérieurement sur ces points tirés au hasard lors des relevés dendrométriques, mais à l'époque des relevés la reproduction était terminée et ces observations correspondaient à des individus non cantonnés en déplacements post-nuptiaux. Le travail de terrain a été réalisé en juin et juillet 2005.

2.2.3. Relevé des variables de structure de la végétation

Sur chaque point, qu'il s'agisse d'un nid de sittelle ou d'un point au hasard, trois sous-placettes circulaires sont définies. La sous-placette centrale, d'un rayon de 11,40 m (A), est centrée sur l'emplacement du nid de sittelle ou sur le point tiré au hasard. Ce rayon correspond environ à une surface de 4 ares en tenant compte de la pente moyenne. A une distance de 50 m de part et d'autre de ce point central, en suivant en général une courbe de niveau, on définit deux nouvelles sous-placettes circulaires de 11,40 m de rayon. La distance les séparant de la sous-placette centrale est donc de 27,2 m (B). La distance totale de 122 m entre les points extrêmes du dispositif est de l'ordre de grandeur du rayon d'un petit territoire de sittelle. La surface totale de la placette (somme des trois sous-placettes) est donc de 1 225 m² environ.

Figure 2. Localisation des trois sous-placettes échantillonnées sur chacun des nids de sittelle (rond noir au centre du premier cercle)



2. 3. Les variables d'habitat

Sur chaque sous-placette nous avons :

- compté les tiges (au-dessus de 10 cm de diamètre), en les répartissant en 11 classes de diamètre de 10 cm d'intervalle, de la classe 10-20 cm à la classe 100-110 cm, en distinguant les pins laricio des autres ligneux. Les diamètres inférieurs ou égaux à 30 cm ont été mesurés avec un compas forestier de type équerre (de dimension réduite pour être transporté facilement dans le sac en terrain difficile et fabriqué spécialement pour cette étude) ou avec un ruban de cubage (*Zimmer*) pour les forts diamètres

- mesuré la hauteur du plus haut pin laricio des trois parcelles avec un dendromètre *Suunto*,
- estimé visuellement en pourcentage le recouvrement de la canopée au-dessus de 8m, en s'aidant d'une charte des recouvrements (Prodon 1988).

Les distances entre les arbres d'une sous-placette ont été mesurées avec un laser-mètre (*Leica distotm*), et la localisation du point central des deux placettes latérales à l'aide d'un Topofil (*Chaix*). Sur les arbres porteurs de nid, nous avons relevé le diamètre du tronc, sa hauteur, son degré d'écorçage, et la distance à l'arbre le plus proche en distinguant : (i) les arbres plus hauts que le support du nid, (ii) ceux avec un diamètre d'au moins 20 cm, et (iii) les pins laricio des autres essences.

Le Tableau 2 donne la liste des différentes variables dendrométriques relevées sur le terrain ou calculées a posteriori. Dans les analyses statistiques, les trois sous-placettes correspondant à un point – site de nid ou point au hasard – ont été confondues en un seul échantillon d'une superficie totale de 0,12 ha environ. Ainsi, le nombre de tiges d'un diamètre donné représente la somme des tiges de cette classe comptés dans les trois sous-placettes d'un point, et le pin le plus haut est le plus élevé des trois sous-placettes.

Tableau 2. Liste des différentes variables dendrométriques (DT est remplacé par DL lorsqu'il s'agit des seuls pins laricio)

Abréviations	Variabiles
DT10	nombre de brins de diamètre ≥ 10 et < 20 cm
DT20	nombre de brins dans la classe de diamètre 20-30 cm
DT30	nombre de brins dans la classe de diamètre 30-40
DT40	nombre de brins dans la classe de diamètre 40-50
DT50	nombre de brins dans la classe de diamètre 50-60
DT60	nombre de brins dans la classe de diamètre 60-70
DT70	nombre de brins dans la classe de diamètre 70-80
DT80	nombre de brins dans la classe de diamètre 80-90
DT90	nombre de brins dans la classe de diamètre 90-100
DT100	nombre de brins dans la classe de diamètre 100-110
D110s	nombre de brins de diamètre supérieur à 110
T	nombre total de brins
Dsup	diamètre maxi (limite inférieure de la classe de diamètre du plus gros brin)
DM	diamètre moyen
G	surface terrière
HTmax	hauteur du plus grand laricio des trois sous-placettes
X%G	pourcentage de non-laricio (en surface terrière)
X%N	pourcentage de non-laricio (en nombre de brins)
10+	nombre de brins de diamètre égal et supérieur à 10 cm
20+	nombre de brins de diamètre égal et supérieur à 20 cm
30+	nombre de brins de diamètre égal et supérieur à 30 cm
...	etc
m10	nombre de brins de la classe 10-20 cm
m20	nombre de brins de la classe 20-30 et au dessous (c'est-à-dire < 30 cm)
m30	nombre de brins de la classe 30-40 et au dessous (c'est-à-dire < 40 cm)
...	etc

2. 4. Analyses des données

Nous avons analysé les données selon diverses procédures statistiques, de façon à varier les points de vue et à éviter au mieux tout éventuel artefact de calcul lié à telle ou telle méthode. Nous avons d'abord utilisé l'analyse discriminante, technique classiquement utilisée en matière de sélection de l'habitat. Notre plan d'échantillonnage, qui impliquait le même nombre de points avec présence et avec absence de la sittelle, a été conçu pour donner le maximum d'efficacité à cette analyse.

Nous avons également réalisé une série de régressions logistiques. Cette forme de régression est bien adaptée aux données de présence/absence et permet de pratiquer une sélection des modèles, c'est à dire une sélection des variables et combinaisons de variables les plus actives, en donnant des niveaux de signification. Nous avons successivement réalisé :

- des régressions logistiques simples par classe de diamètres des troncs,
- des régressions logistiques multiples sur toutes les classes de diamètres, avec la hauteur des pins et la proportion de non-laricio, ou sur une sélection de variables. Nous avons alors sélectionné les meilleurs modèles, c'est-à-dire ceux qui s'ajustent le mieux aux données avec le moins de paramètres, selon le critère de l'AIC (Akaike's Information Criterion).

Comme il n'est pas évident qu'un diamètre donné (à ± 5 cm près) ait une signification biologique pour l'oiseau, nous avons aussi considéré le nombre de tiges plus grosses ou plus petites qu'un certain diamètre-seuil, en testant plusieurs valeurs de ce seuil.

Bien que la distribution du diamètre des troncs ne soit pas la même dans les deux forêts, tous les échantillons ont été mélangés dans l'analyse, en considérant que les exigences de l'oiseau en matière d'habitat ne différaient pas dans les deux forêts. Nous avons utilisé le logiciel « *ADE4* » pour les analyses discriminantes, et le logiciel « *SAS package* » pour les régressions logistiques et la sélection des modèles.

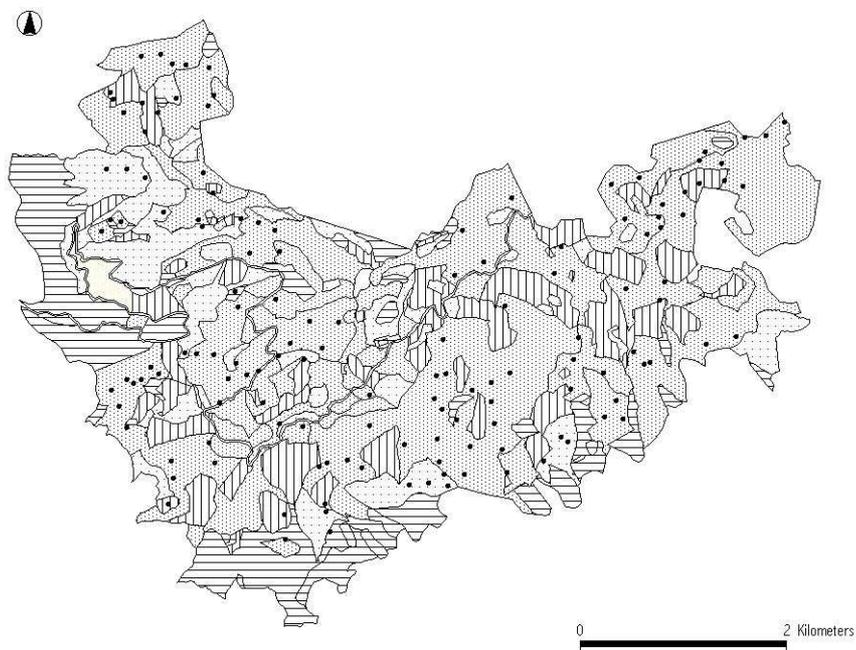
3. Résultats

3. 1. Répartition des territoires et densités des sittelles dans les deux forêts

La sittelle a une répartition hétérogène au sein de chacun des massifs forestiers (Figure 3 a et b page suivante). Elle est présente essentiellement dans les futaies pures de pin laricio, localement dans les peuplements mélangés (pin laricio - hêtre et/ou sapin), rarement dans les coupes, les parties en régénération, et dans toutes les zones où le pin laricio est absent (peuplements de feuillus, rochers, fruticées). Les densités les plus élevées sont atteintes dans les zones de futaie mature de pin laricio, pure ou en mélange avec d'autres essences minoritaires. Les densités par faciès sont présentées dans des tableaux différents car les typologies des cartes forestières étaient différentes dans les deux massifs (Tableau 3).

Figure 3. Répartition des territoires de sittelles (figurés par des points) dans les forêts de Valdoniellu (a) et Aitone (b) (modifiées d'après les cartes des aménagements forestiers). Légende : barres horizontales = feuillus (hêtres + bouleaux), rochers et fruticées, barres verticales = SGP (coupes et différents stades de croissance des peuplements), pointillés denses = « futaie dense », « futaie claire » et « vieille futaie » de pin laricio, pointillés lâches = pin laricio en mélange avec sapin et/ou hêtre.

a



b

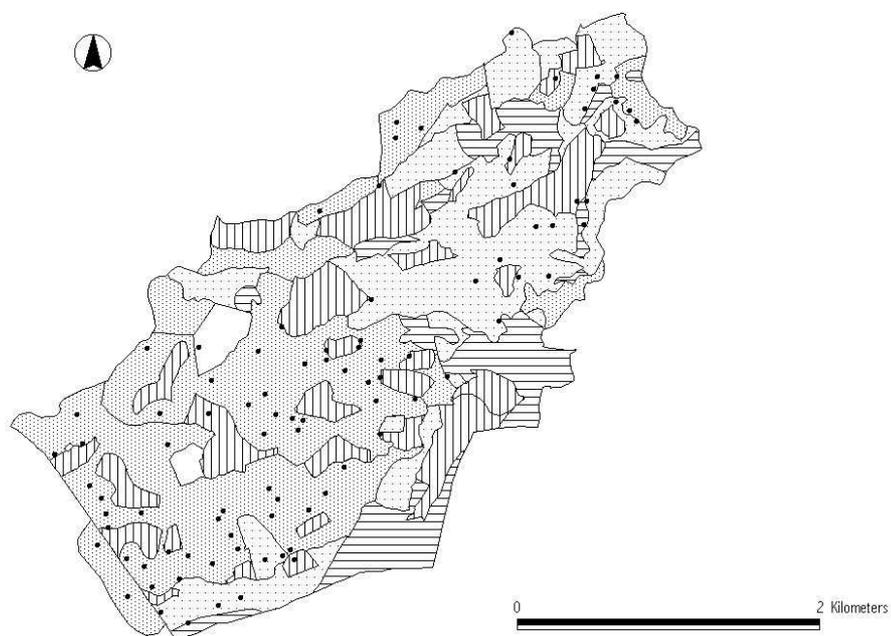


Tableau 3. Effectifs et densités des sittelles dans les différentes catégories de peuplements forestiers décrites dans les aménagements (SGP = semis-gaulis-perchis, F = futaie, VF = vieille futaie, PL = pin laricio, HET = hêtre, SP = sapin, cp= couple)

Peuplements forestiers (Aitone)						
Surface (ha)	%	Contacts	Nids	Total	%	Densité cp/10 ha
Rare laricio	124	14,1	3	3,5		0,24
PL (SGP)	183	20,7	5	5,8		0,27
PL (F, VF)	344	38,9	54	62,8		1,57
PL + HET + SP	234	26,4	24	27,9		1,03
Total	886		45	41	86	

Peuplements forestiers (Valduniellu)						
Surface (ha)	%	Contacts	Nids	Total	%	Densité cp/10 ha
Non laricio	342	15,3	2	1,4		0,06
PL (SGP)	348	15,6	10	7,2		0,29
PL (F, VF)	1 225	54,7	108	77,7		0,88
PL + quelques bouleaux	323	14,4	19	13,7		0,59
Total	2 237		82	57	139	

3.2. Aspects descriptifs des territoires

Dans tout ce qui suit, l'individu statistique est la placette. Il y a 98 placettes avec sittelle et 98 placettes sans sittelle. Les 196 placettes représentent 588 sous-placettes comprenant un total de 6 829 arbres mesurés, dont 4 808 pins laricio.

A Aitone, le plus haut pin laricio atteignait en moyenne 32,7 m sur les placettes avec nid contre 26,9 m pour ceux sans nid. A Valduniellu, ces chiffres étaient respectivement de 30,7 m et 23,8 m. A Aitone, la densité du feuillage sur les sous-placettes centrales avec nid était en moyenne de 19,5%, contre 45,6% pour celles des placettes sans nid. A Valduniellu, ces chiffres étaient de 15,1% contre 27,0%.

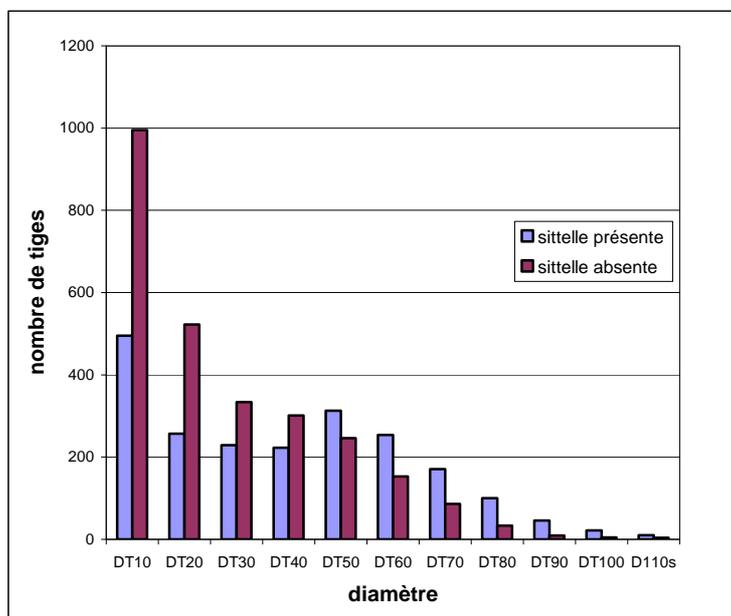
3.3. Caractéristiques dendrométriques des territoires

3.3.1. Corrélations entre variables et tests élémentaires

Les classes de diamètre consécutives présentent évidemment de fortes corrélations linéaires positives. Mais on note aussi de fortes corrélations négatives entre les classes DT60 à DT80 d'une part, et DT10 et DT20 de l'autre, traduisant une opposition entre les jeunes et les vieux peuplements. La hauteur maximale HTmax est corrélée le plus négativement à DT10, ce qui est normal, et le plus positivement à DT70, sans doute parce que les classes de diamètres supérieurs ont de faibles effectifs.

Les nombres de brins par classes de taille sont présentées sur la figure 4. Les diamètres supérieurs à 50 cm sont plus nombreux sur les placettes avec nid que sur les placettes sans nid. A l’opposé, il y a davantage de petits arbres (incluant les pins laricio) des classes 10 à 30 cm sur les placettes sans nid.

Figure 4. Relation entre le nombre de tiges et le diamètre des arbres sur les placettes avec et sans sittelle

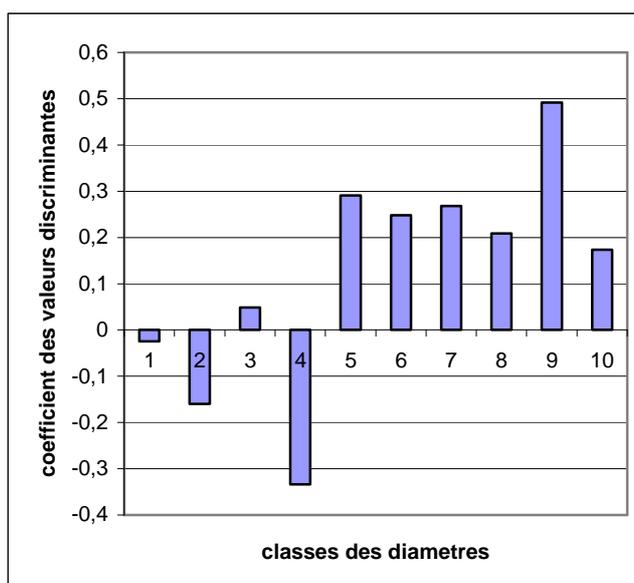


Des analyses de variance à un facteur contrôlé (présence ou absence de sittelle) ont été réalisées sur chacune des 13 variables, c'est-à-dire : DT10, DT20, DT30, DT40, DT50, DT60, DT70, DT80, DT90, DT100, D110s, HTmax. Presque toutes les variables présentent des différences significatives au seuil 5% entre les placettes avec et sans sittelle, sauf les classes DT40 et DT50 ($p = 0,059$ et $0,084$ respectivement). Mais les différences les plus nettes s’observent pour les variables HTmax, DT90, DT80, DT70, et XG%. En revanche, on ne voit guère de différence entre les parcelles avec et sans nid si l’on se contente de compter le nombre total de brins supérieurs à 20cm, tous diamètres confondus : ce nombre est voisin de 17 (soit $139 \text{ brins.ha}^{-1}$) dans les deux cas.

3.3.2. Analyses discriminantes

Une analyse discriminante a été effectuée en considérant 10 classes de diamètre (les diamètres égaux ou supérieurs à 100 cm ont été regroupés en une seule classe à cause de leurs faibles effectifs). Les coefficients de ces 10 variables sont visualisés sous forme d'histogramme sur la figure 5. Elle fait apparaître l'opposition entre les classes DT10 à DT40, défavorables à la présence de la sittelle ou peu actives dans la discrimination, et les classes DT50 et supérieures, qui sont favorables. On notera le coefficient particulièrement fort de la classe DT90. Le seuil défavorable-ou-neutre vs. favorable se situe vers 50 cm.

Figure 5. Coefficients des différentes classes de diamètre dans l'analyse discriminante



3.3.3. Régressions logistiques

Les régressions logistiques permettent de prédire les probabilités théoriques de présence de la sittelle (en ordonnée sur les graphes) en fonction d'une variable ou d'une combinaison de variables (en abscisse). Ces modèles logistiques s'ajustent plus ou moins bien aux données observées. On recherche le modèle le plus efficace et le plus parcimonieux, c'est-à-dire s'ajustant le plus possible aux données en utilisant le moins de variables. Nous considérerons d'abord des modèles utilisant les variables brutes (nombre de brins, hauteurs) du tableau de données, puis des variables dérivées (diamètre maximal dans une placette donnée, nombre de brin d'un diamètre supérieur ou inférieur à un seuil donné).

3.3.3.1. Régression logistique multiple : modèles complets et modèles simplifiés

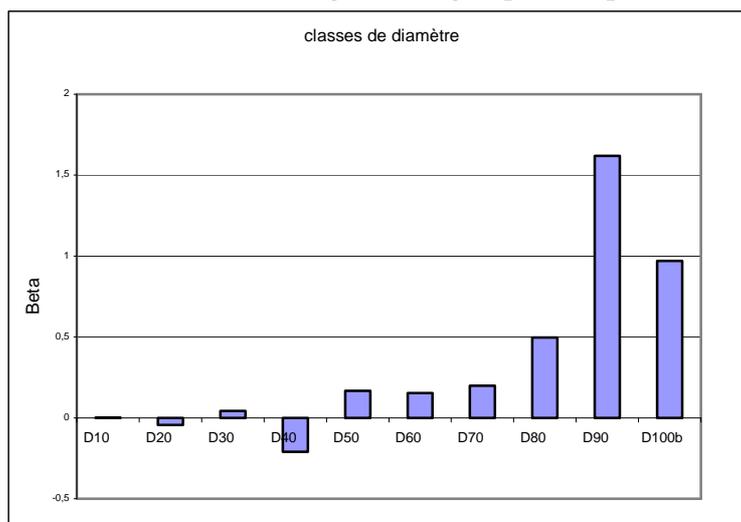
a) Modèles avec les seules classes de diamètre

Les coefficients de la régression multiple incluant les 10 classes de diamètre sont présentés dans le tableau 4 (page suivante), et visualisés sous forme d'histogramme sur la figure 6. On note que ces coefficients sont négatifs ou à peu près nuls en dessous de 50 cm de diamètre, et positifs au dessus. Mais ils ne sont significativement positifs qu'au dessus de 80 cm.

Tableau 4. Coefficients de la régression logistique multiple avec les classes de diamètres brutes (les variables avec coefficients significativement différents de zéro sont en grisé)

variable	beta	<i>p</i>	borne inférieure	borne supérieure	
Intercept	- 1.3158	0.001	- 2.1009	- 0.5308	
DT10	0.0008	0.9691	- 0.0407	0.0423	0.9692
DT20	- 0.0433	0.4413	- 0.1534	0.0669	0.4287
DT30	0.0424	0.6128	- 0.1219	0.2068	0.6115
DT40	- 0.2103	0.0257	- 0.3951	- 0.0256	0.0175
DT50	0.1667	0.0669	- 0.0116	0.3451	0.0618
DT60	0.1539	0.1018	- 0.0305	0.3383	0.0956
DT70	0.1992	0.1357	- 0.0625	0.4608	0.1299
DT80	0.4973	0.0305	0.0469	0.9477	0.0233
DT90	1.6192	0.0002	0.7619	2.4764	<.0001
DT100+	0.9705	0.0337	0.0748	1.8662	0.0282

Figure 6. Représentation des coefficients de la régression logistique multiple sur les classes de diamètre



Nous avons cherché à diminuer le nombre de paramètres pris en compte dans la régression tout en conservant la capacité à prédire les probabilités de présence ou d'absence de la sittelle. On retient le modèle avec 6 classes : DT40, DT50, DT70, DT80, DT90, et DT100.

Tableau 5. Recherche du meilleur modèle de régression logistique avec les classes de diamètre

Numéro du modèle	Modèle	Déviante	Nombre de paramètres	AIC
1	Complet (toutes les classes)	202.22	12	226.22
2	Sans DT30	202.26	11	224.26
3	Sans DT30, 10	202.27	10	222.27
4	Sans DT30, 10, 20	203.16	9	221.16
5	Sans DT30, 10, 20, 60	204.96	8	220.96
6	Sans DT30, 10, 20, 60, 110	205.05	7	219.05

b) Modèles avec les classes de diamètre et le pourcentage de non-laricio

Les non-laricio sont souvent de petits brins influant peu sur la surface terrière. Deux quantifications du pourcentage de non-laricio (en transformation arcsinus) ont été testées :

- le pourcentage de la surface terrière (X%G)
- le pourcentage du nombre de brins (X%N)

Ces deux variables ont été ajoutées séparément aux classes de diamètre, et le processus de sélection de modèle a été recommencé :

Tableau 6. Recherche du meilleur modèle logistique avec les classes de diamètre et le pourcentage de non-laricio.

Numéro modèle	Modèle	Déviance	Nombre de paramètres	AIC
6	Sans DT30, 10, 20, 60, 110	205.05	7	219.05
7	Sans DT30, 10, 20, 60, 110 + X%G	197.26	8	213.26
8	Sans DT30, 10, 20, 60, 70, 110 + X%G	200.24	7	214.56
9	Sans DT30, 10, 20, 60, 110 + X%N	201.19	8	217.19

Le test LRT montre que les modèles 7 et 8 ne sont pas significativement différents ($\text{Chi}^2 = 2,98$, ddl=1, p=0.08). Le modèle avec le moins de paramètre (modèle 8) est donc à retenir. Il utilise les classes de diamètre D40, D50, D70, D80, D90, D100s, et le pourcentage de non-laricio (en surface terrière). Au vu des statistiques ci-dessous il n'est pas nécessaire de tenter une réduction supplémentaire du nombre de variables, toutes très significatives :

LR Statistics For Type 3 Analysis			
Source	DDL	Khi 2	Pr > Khi 2
D40	1	12.81	0.0003
D50	1	7.60	0.0058
D80	1	9.39	0.0022
D90	1	13.34	0.0003
D100	1	4.25	0.0391
X%G	1	9.87	0.0017

Tableau 7. Estimation des coefficients de chaque variable dans la régression logistique multiple correspondant au modèle 8 (cf. ci dessus tableau 7).

Variable	estimation beta	écart-type	limite inférieure	limite supérieure
Intercept	- 0.3844	0.3617	- 1.0933	0.3246
DT40	- 0.2578	0.0782	- 0.4111	- 0.1045
DT50	0.2112	0.0803	0.0537	0.3686
DT80	0.6181	0.2172	0.1924	1.0438
DT90	1.4285	0.4386	0.5688	2.2882
DT100	1.0859	0.5631	- 0.0176	2.1895
X%G	- 2.2763	0.9425	- 4.1236	- 0.4290

On voit dans le tableau 7 ci-dessus l'influence négative significative des diamètres de la classe 40-50 cm et du pourcentage de non-laricio sur la présence de la sittelle.

3.3.3.2. Régression en fonction du diamètre maximal

Nous avons vu que les classes avec un fort diamètre ont une influence positive sur la probabilité de présence de la sittelle. Il est toutefois biologiquement peu vraisemblable que la sittelle requiert précisément la présence de telle ou telle classe de diamètre de tronc définie à ± 5 cm près. On peut suspecter en revanche qu'elle soit sensible à la présence d'au moins un tronc de fort diamètre. La variable unique considérée ici est donc le diamètre du plus grand pin de la parcelle.

Aucune présence de la sittelle n'est observée si ce diamètre maximum Dmax (défini par sa limite inférieure de classe) est inférieur à 60 cm. Le modèle logistique est « plus optimiste » et prédit une probabilité de présence non nulle pour cette classe et les diamètres inférieurs. Ceci peut s'expliquer soit par un effet de seuil non pris en compte dans le modèle logistique (seuil qui se situerait donc à 60 cm de diamètre), soit par des fluctuations aléatoires à l'intérieur de l'intervalle de confiance expliquant l'absence de la sittelle dans la classe 50-60 cm.

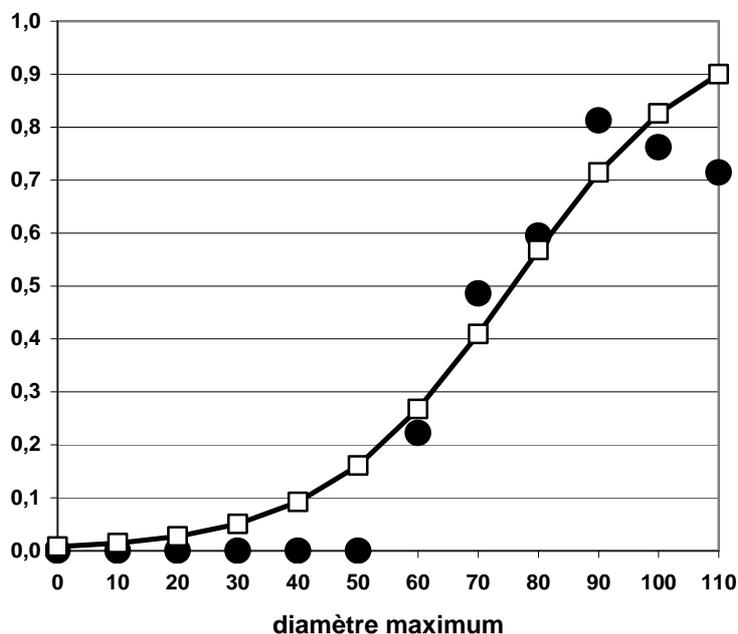
La diminution des fréquences observées au dessus de 90 cm de diamètre n'a probablement pas de signification biologique, mais est vraisemblablement un effet aléatoire dû au petit nombre de parcelles concernées, avec un faible nombre de troncs de plus de 100 et 110 cm dans le jeu de données.

Le rétro-calcul avec ce modèle donne les probabilités de présence suivantes (tableau 8 ci-dessous et figure 7 page suivante).

Tableau 8. Rétro-calcul avec le modèle logistique simplifié « D max » (n échantillons = 196)

Dmax	intercept	$y=a+b*x$	$E/1+E$	observé	calculé	n échantillons
0	-4.8541	-4.8541	0.00773603	0.00	0.01	5
10	-4.8541	-4.2131	0.01458456	0.00	0.01	7
20	-4.8541	-3.5721	0.02732893	0.00	0.03	5
30	-4.8541	-2.9311	0.05063742	0.00	0.05	4
40	-4.8541	-2.2901	0.0919462	0.00	0.09	5
50	-4.8541	-1.6491	0.16123062	0.00	0.16	8
60	-4.8541	-1.0081	0.26735185	0.22	0.27	18
70	-4.8541	-0.3671	0.40924195	0.49	0.41	35
80	-4.8541	0.2739	0.5680501	0.60	0.57	42
90	-4.8541	0.9149	0.71400181	0.81	0.71	32
100	-4.8541	1.5559	0.82576424	0.76	0.83	21
110	-4.8541	2.1969	0.89997078	0.71	0.90	14

Figure 7. Probabilité de présence de la sittelle en fonction du diamètre du plus gros pin de la parcelle. Courbe et carrés blancs : probabilités calculées selon le modèle logistique. Ronds noirs : fréquences observées



3.3.3.3. Régression en fonction d'un diamètre-seuil variable

La variable unique testée ici par une série de régressions logistiques simples est le nombre de troncs de diamètre supérieur ou inférieur à un seuil donné. On essaye successivement plusieurs valeurs du diamètre-seuil (celui-ci est arrondi à la limite inférieure de la classe de diamètre considérée) en évaluant à chaque fois l'efficacité des modèles correspondants.

a) Modèles avec seuil inférieur de diamètre

On teste ici le pouvoir prédictif du nombre de troncs de diamètre *égal ou supérieur* à une valeur seuil donnée, en calculant différentes régressions correspondant à différentes valeurs du seuil.

Les coefficients des régressions logistiques correspondant aux valeurs possibles du seuil de diamètre (de 10 à 110 cm) sont donnés sur le tableau 9 et visualisés sous formes d'histogramme sur la figure 8 (page suivante). On note que les coefficients augmentent avec le diamètre critique et deviennent significativement positifs dès que celui-ci atteint et dépasse 50 cm.

Tableau 9. Coefficients des 11 régressions logistiques simples en fonction d'un diamètre-seuil (« 10+ », « 20+ », etc : nombre de brins de diamètre égal et supérieur à 10cm, à 20cm, etc...)

Modèle	déviante	beta	écart-type	P	intercept	variance	p
10+	266.61	-0.0188	0.0086	0.0282	0.4572	0.2508	0.0683
20+	271.5398	-0.0051	0.0123	0.6769	0.0866	0.2522	0.7313
30+	269.2032	0.0257	0.0164	0.1170	-0.3320	0.2554	0.1936
40+	262.1515	0.0649	0.0217	0.0028	-0.6505	0.2607	0.0126
50+	245.4357	0.1476	0.0315	<.0001	-1.0748	0.2707	<.0001
60+	233.9670	0.2641	0.0487	<.0001	-1.1608	0.2563	<.0001
70+	226.6631	0.4871	0.0857	<.0001	-1.1259	0.2412	<.0001
80+	227.4912	0.8939	0.1687	<.0001	-0.8837	0.2124	<.0001
90+	239.3952	1.3391	0.2900	<.0001	-0.5387	0.1793	0.0027
100+	259.0804	1.2159	0.3881	0.0017	-0.2235	0.1579	0.1568
110+	268.8593	0.9822	0.6099	0.1073	-0.0660	0.1483	0.6566

Figure 8. Représentation des coefficients de la régression logistique pour les modèles correspondant à diverses valeurs de seuil inférieur de diamètre

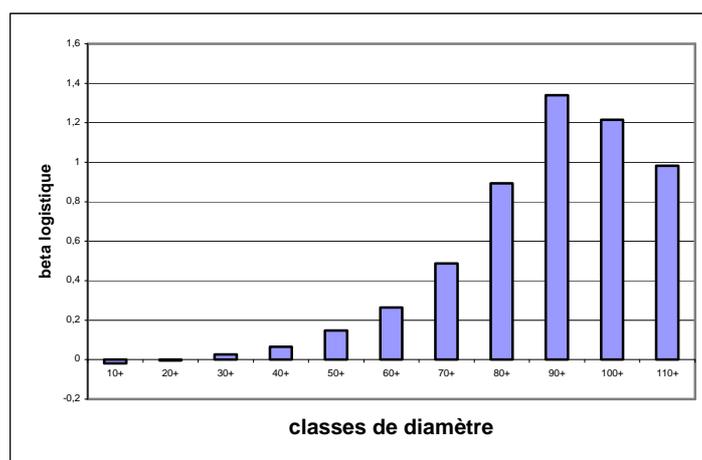


Tableau 10. Rétro-calculs avec les modèles de type « diamètre égal ou supérieur à ... », sur la surface de l'échantillon, soit 1 225 m² environ, soit 0.1225 ha⁻¹

Diamètre	Pour dépasser $p=0.5$, il faut le nombre de brins suivants :	Pour dépasser $p=0.75$, il faut le nombre de brins suivants :
40+	11	27
50+	8	15
60+	5	9
70+	2	5
80+	1	3
90+	1	1
100+	1	1

Autrement dit, il suffit qu'il y ait un laricio de plus de 80 cm de diamètre sur les 1 225 m² de la parcelle (soit environ 8 gros laricio.ha⁻¹) pour que la probabilité de présence de la sittelle

dépasse 0,5 (soit une chance sur deux). S'il y a au moins un laricio de plus de 90cm de diamètre, la probabilité dépasse 0,75. La présence de 8 gros laricio.ha⁻¹ donne une distance moyenne de 35 m environ entre les troncs. Pour un territoire de siette de 3 ha, cela implique la présence de 24 gros pins environ (sans compter ceux de plus faible diamètre, évidemment).

b) Modèles avec seuil supérieur de diamètre

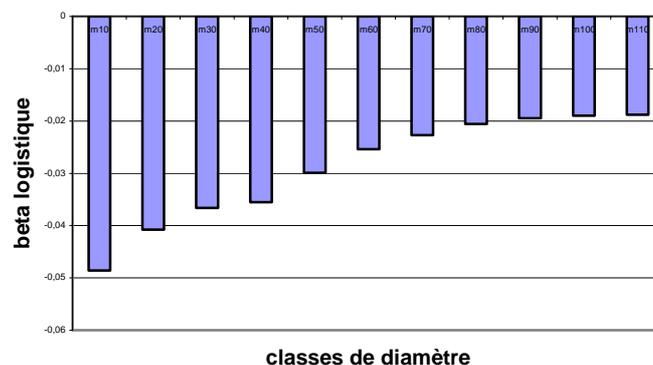
On teste ici le pouvoir prédictif du nombre de troncs de diamètre *inférieur* à une valeur-seuil donnée en calculant différentes régressions correspondant à différentes valeurs du seuil. Les coefficients des 10 régressions logistiques correspondant à 10 valeurs possibles du seuil de diamètre (de 10 à 110 cm) sont donnés sur le tableau 11 et visualisés sous forme d'histogramme sur la figure 9.

Toutes les régressions ont des coefficients négatifs, parce que le nombre de brins varie de façon inverse de leur diamètre : plus ils sont nombreux, plus ils risquent d'être petits. On note toutefois que les coefficients chutent fortement en dessous de 70-80 cm de diamètre.

Tableau 11. Coefficients des 10 régressions logistiques en fonction d'un diamètre inférieur

modèle	déviance	Beta	écart-type	<i>p</i>	intercept	variance	<i>p</i>
m10	261.2250	-0.0486	0.0176	0.0057	0.3392	0.1829	0.0637
m20	258.0896	-0.0408	0.0129	0.0015	0.4354	0.1921	0.0234
m30	257.4730	-0.0366	0.0111	0.0010	0.4964	0.2016	0.0138
m40	256.4522	-0.0355	0.0103	0.0005	0.5780	0.2143	0.0070
m50	259.4305	-0.0299	0.0093	0.0014	0.5779	0.2260	0.0106
m60	262.2989	-0.0254	0.0088	0.0041	0.5478	0.2354	0.0199
m70	264.1149	-0.0227	0.0087	0.0090	0.5235	0.2437	0.0317
m80	265.4414	-0.0206	0.0086	0.0167	0.4903	0.2477	0.0477
m90	266.1196	-0.0195	0.0086	0.0232	0.4692	0.2493	0.0599
m100	266.4210	-0.0190	0.0086	0.0269	0.4592	0.2501	0.0664
m110	266.5135	-0.0188	0.0086	0.0282	0.4572	0.2508	0.0683

Figure 9. Représentation des coefficients de la régression logistique pour les modèles correspondant à diverses valeurs de seuil supérieur de diamètre



3.3.3.4. Recherche de divers modèles simplifiés

On effectue une sélection de modèles logistiques utilisant les variables les plus actives mises en évidence précédemment :

P80 = nombre de brins de la classe 80-90 et plus (= nombre brins > 80cm)

m60 = nombre de brins de la classe 60-70 et moins

m40 = nombre de brins de la classe 40-50 et moins (= nombre brins < 50cm)

aX%G = arcsinus(X%G) (NB : en décimal, c'est-à-dire de 0 à 1)

aX%N = arcsinus(X%N) (NB : en décimal, c'est-à-dire de 0 à 1)

Tableau 12. Recherche de divers modèles simplifiés.

Caractéristiques des modèles	Déviance	Nombre de paramètres	AIC
p80 aX%G m60	207.4377	4	215.4377
p80 aX%N m60	214.4700	4	222.4700
p80 aX%G m50	205.8118	4	213.8118
p80 aX%N m50	212.5533	4	220.5533
p80 aX%G m40	204.4936	4	212.4936
p80 aX%N m40	210.7514	4	218.7514
p80 aX%G m30	207.3751	4	215.3751
p80 aX%N m30	213.4924	4	221.4924
p80 aX%G m20	208.9233	4	216.9233
p80 aX%N m20	214.9671	4	222.9671
p70 aX%G m40	206.9922	4	214.9922
p70 aX%N m40	213.3028	4	221.3028
p60 aX%G m40	211.0411	4	219.0411
p60 aX%N m40	219.7257	4	227.7257
p90 aX%G m40	205.5888	4	213.5888
p90 aX%N m40	211.8537	4	219.8537
Dmax	206.7413	2	210.7413
Dmax + aX%G	203.4285	3	209.4285
Dmax + aX%G + interaction	203.4182	4	211.4183
Dmax + aX%N	203.5961	3	209.5961
Dmax + aX%N + interaction	203.4185	4	211.4185

Remarque : ajouter les interactions aux modèles ne les améliore guère ; les modèles « aX%G » et « aX%N » ne sont plus significatifs en présence de Dmax.

Le modèle le plus efficace avec le moins de variables est celui associant, en coefficients négatifs, le nombre de brins inférieurs à 40 cm et le pourcentage de non-laricio (en surface terrière) et, en coefficient positif, le nombre de brins de diamètre supérieur à 80 cm.

Analysis Of Parameter Estimates							
Paramètre	DDL	Estimation	Erreur type	Wald 95% Confidence Limits		Khi 2	Pr > Khi 2
Intercept	1	-4.8541	0.8687	-6.5567	-3.1515	31.22	<.0001
Dmax	1	0.0641	0.0109	0.0427	0.0855	34.52	<.0001
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		
LR Statistics For Type 3 Analysis							
Source	DDL	Khi 2	Pr > Khi 2				
Dmax	1	64.97	<.0001				

Analysis Of Parameter Estimates							
Paramètre	DDL	Estimation	Erreur type	Wald 95% Confidence Limits		Khi 2	Pr > Khi 2
Intercept	1	-4.7613	0.8936	-6.5127	-3.0098	28.39	<.0001
Dmax	1	0.0660	0.0114	0.0437	0.0883	33.63	<.0001
apourc2	1	-0.9015	0.5175	-1.9157	0.1128	3.03	0.0815
Scale	0	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000		
LR Statistics For Type 3 Analysis							
Source	DDL	Khi 2	Pr > Khi 2				
Dmax	1	60.81	<.0001				
aX%N	1	3.15	0.0762				

3. 4. Description et caractéristiques dendrométriques des sites de nids

3.4.1. Caractéristiques et essences

Les nids sont situés essentiellement dans des chandelles de pin laricio (Tableau 13). Les non-laricio représentent 6,12% des nids, alors qu'ils constituent 27% des brins mesurés. Il semble donc bien y avoir évitement des non-laricio. Mais cette contre-sélection peut s'expliquer aussi par le plus faible diamètre moyen des non-laricio.

Table 13. Caractéristiques des nids de sittelles et essences utilisées dans les forêts de Aitone et Valdoniellu.*

Caractéristiques	Aitone	Valdoniellu	%
chandelles	32	43	76,5
arbres morts branchus	7	13	20,4
parties mortes d'arbres vivants	2	1*	3,1
			100
Essences			
bouleau	0	1	1
sapin	5	0	5,1
pin laricio	36	56	93,9

3.4.2. Dendrométrie des chandelles

La distribution en classes de diamètre des 98 troncs supportant un nid (tableau 14) semble montrer que la préférence des sittelles pour les gros diamètres (>60-80 cm), démontrée par les calculs précédents d'après les comptages de troncs sur les placettes, ne concerne pas le choix du site de nid. En effet, le diamètre moyen des arbres avec un nid est seulement de 57 cm. Une petite minorité seulement des nids (12 %) est située sur des troncs de diamètres supérieurs à 80 cm. Mais, si on rapporte la distribution en diamètre des sites de nids à la distribution des troncs en classes de diamètre sur les placettes des territoires, il apparaît bien une sélection positive des gros troncs, la sélection la plus forte étant pour le diamètre de 90 cm. Remarquons que cette sélection positive semble commencer ici à partir de 40 cm, diamètre nettement plus faible que le seuil de 50-60 cm déterminé plus haut par les analyses du peuplement. Mais la disponibilité en troncs vivants (estimée d'après les comptages sur les parcelles) ne correspond pas forcément à la disponibilité en arbres morts. Cette dernière n'ayant pas été mesurée, on ne peut apprécier précisément la sélection des diamètres des chandelles par l'oiseau.

Tableau 14. Distribution des diamètres des arbres porteurs de nids comparée à celle des diamètres des troncs relevés sur les territoires.

Diamètre (cm)	n nids	%	nombre de troncs	T%	log(N%/T%)
<20	1	0.01	2269	0.47	-1.67
20	7	0.07	563	0.12	-0.21
30	12	0.12	524	0.11	0.05
40	20	0.20	559	0.12	0.24
50	16	0.16	407	0.08	0.29
60	14	0.14	257	0.05	0.43
70	16	0.16	133	0.03	0.77
80	4	0.04	55	0.01	0.55
90	7	0.07	27	0.01	1.10
100	1	0.01	14	0.00	0.54
	98	1	4808	1	

3.4.3. Distance à l'arbre le plus proche

On peut penser que la distance entre le nid et l'arbre le plus proche à hauteur égale est un critère important pour le choix du site de nid, en particulier parce qu'il donne une certaine indication de la répugnance de l'oiseau à voler à découvert, et parce que la plupart des oiseaux souhaitent disposer d'un perchoir à proximité du nid qui leur permet de faire une pause de surveillance avant de gagner le nid.

La distance moyenne du nid à l'arbre de plus de 20 cm de diamètre (toutes essences confondues) le plus proche est de 4,5 m. Elle est en moyenne de 5,3 m au laricio de plus de 20 cm le plus proche, et jamais supérieure à 22 m.

Soit une formule empirique et simple de calcul de la densité forestière D (en nombre d'arbres par ha) d'après l'espacement entre les arbres (en m) :

$$D = 10\,000 / (\text{distance entre les arbres})^2$$

On peut estimer la densité qui correspond à notre distance moyenne (entre le nid et le premier pin laricio d'un diamètre supérieur à 20cm) :

$$D = 10\,000 / (5.23)^2 = 356 \text{ arbres.ha}^{-1} = 44 \text{ arbres sur } 1\,225 \text{ m}^2$$

Or la densité moyenne observée (calculée seulement avec les laricios de diamètre >20cm) dans l'ensemble de nos placettes est de 25 brins seulement par 1 225 m² (soit 204 brins.ha⁻¹). On peut donc en déduire que les sittelles choisissent préférentiellement pour leur nid une chandelle ayant un arbre proche, ou une chandelle située au sein d'un peuplement relativement dense.

4. Discussion

La spécialisation de la sittelle corse dans les pins laricio s'explique essentiellement par sa consommation des graines pendant plusieurs mois de l'année (Thibault *et al.* 2006). Les pins laricio connaissent des productions en cônes avec d'importantes variations inter-annuelles, mais les « gros bois » ont toujours une production minimale même les mauvaises années (Moneglia *et al.* en prép.). Ainsi, en sélectionnant son habitat d'une façon aussi restrictive, les sittelles territoriales, qui sont strictement sédentaires, ont l'assurance d'avoir une production minimale en cônes même les années de faible production. Le présent travail a permis d'affiner les exigences de l'espèce en matière d'habitat, et notamment de préciser le diamètre critique au dessus duquel les pins sont considérés comme suffisamment gros pour l'animal.

4. 1. Caractéristiques de l'habitat

Répartition

Dans les deux forêts, la répartition et la densité des sittelles ne sont pas homogènes, mais reflètent les différences d'habitats (pins vs. feuillus) et la qualité des peuplements (la sittelle est absente des zones de régénération). Cependant, il apparaît quelques incohérences entre les habitats relevés sur la carte de répartition (Figure 2 a et b) d'une part, et les résultats de l'analyse dendrologique d'autre part. Ainsi d'après la carte, plusieurs couples de sittelles habiteraient des peuplements non-matures ou de non-laricio. Mais les fonds de carte sur lequel les points GPS ont été relevés proviennent des aménagements forestiers qui ne reflètent pas toujours exactement la réalité des peuplements. Les données dendrologiques relevées sur les sites avec des sittelles ou sans sittelle indiquent d'une façon beaucoup plus exacte la qualité et le profil des peuplements forestiers.

Estimation de l'âge des arbres fréquentés par les sittelles en relation avec leur diamètre

La mesure du diamètre apparaît comme très importante pour la description de l'habitat des sittelles. L'analyse discriminante indique que la limite entre les diamètres favorables et défavorables aux sittelles se situe vers 50 cm. La modélisation logistique a permis de vérifier, d'affiner et de tester ces résultats. Elle confirme que :

- les diamètres inférieurs à 50 cm, et surtout à 40 cm sont défavorables,
- le diamètre doit être supérieur à 50 cm pour être significativement favorable ; mais les diamètres de 60-80 cm sont faiblement favorables, pas toujours significativement, ou sont neutres,
- les diamètres supérieurs à 80 cm sont très significativement favorables.

Dans cette étude, le diamètre critique des pins favorables aux sittelles est un peu plus élevé que celui que nous avons identifié dans un précédent travail (*ca.* 50 cm, Thibault *et al.* 2006). La différence peut s'expliquer du fait que la présente étude s'est réalisée dans deux

forêts de production où les conditions sont optimales pour que la croissance des pins soit rapide, alors que dans le précédent travail les indices d'abondance avaient été relevés dans des forêts de physionomies et substrats variés et sur une seule placette par point (au lieu de trois), diminuant les chances de trouver des gros bois.

Le précédent aménagement de la forêt de Valdoniellu (1974-2004) permet d'avoir des informations sur la relation entre l'âge et le diamètre dans les parties fertiles de la forêt, bien qu'il soit obtenu à partir d'un échantillon restreint d'arbres. Un diamètre de 50 cm y correspond à un âge de 125 ans environ. Cependant, dans les zones à sol superficiel, la croissance est plus lente et se ralentit vers 120-150 ans ; un diamètre de 55-60 cm y correspondrait à un âge de 200 ans. Quoiqu'il en soit, les sittelles occupent des peuplements matures dont l'âge est bien supérieur à 120 ans.

Influence des autres essences

Les sittelles sont complètement absentes des peuplements de feuillus. On ne les observe que si la proportion de feuillus est inférieure à 50 % (en surface terrière). Dans les deux forêts étudiées où le laricio a été longtemps favorisé par les forestiers, les feuillus sont actuellement cantonnés à un sous-étage. Cependant, leur croissance dans certaines parcelles – qui correspond au choix sylvicole récent de les laisser se développer – risque de se faire au détriment des pins laricio, et donc de la sittelle. A titre d'exemple, dans la Forêt territoriale de Vizzavona, les peuplements mixtes (laricio/hêtres) présents entre le hameau et la route nationale sont très défavorables aux sittelles.

Définir l'habitat optimum de la sittelle

L'habitat optimum sur un territoire de sittelle (soit trois hectares environ) est une futaie pure de laricio comprenant au moins 24 gros pins (de diamètre de 80 cm au minimum), qui sont répartis dans un peuplement de pins plus jeunes distants entre eux d'une trentaine de mètres environ. Il doit abriter plusieurs arbres porteurs potentiels de nids par hectare (chandelles ou arbres morts branchus, de préférence écorcés au moins en partie) ; en outre ces chandelles doivent avoir un diamètre supérieur ou égal à 30-40 cm environ et être éloignées de moins de 20 mètres d'un arbre ou bouquet d'arbres. Ce dernier critère est en relation avec le fait que les petits passereaux forestiers répugnent à voler à découvert (Rodriguez et al. 2001), sans doute en raison du risque de prédation par les rapaces ou les Corvidés (nous n'avons pas de données sur le problème de la prédation dans les forêts de Corse, mais l'épervier d'Europe et le geai des chênes y sont bien répandues et sont connus comme des prédateurs de la sittelle ; cf. Thibault & Villard 2005). En outre, le peuplement de pins doit être relativement dense (*ca.* 200 brins/ha).

4. 2. Implications en matière de gestion forestière

4.2.1. L'âge d'exploitabilité

Le pin laricio a une forte amplitude altitudinale (150 à 1 850 m actuellement), mais avec d'importantes différences de taux de croissance (hauteur et diamètre) entre les stations (effets

de la qualité des sols, de l'exposition etc.) (voir Anon. 2006) et de production en cônes (Moneglia, in prep.). A la fin 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle, les aménagistes avaient tendance à préconiser des rotations longues avec un âge d'exploitabilité pouvant atteindre 360 ans. Cette pratique a été vivement contestée par les aménagistes des années 1970 et 1980 :

« *D'autre part, il semble qu'à partir d'un certain âge (200 ans) le pin laricio fructifie moins et est plus sensible aux champignons (Trametes Pini). Tant pour des raisons économiques que sylvicoles, il convient d'exploiter le pin laricio entre 60 et 70 cm. Nous choisissons pour le présent aménagement, une durée de renouvellement de 180 ans.* » (Aménagement de la forêt territoriale de Tartagine)

« *Il faut souligner que l'âge d'exploitabilité de 360 ans est une aberration. Le laricio est, certes, longévif mais beaucoup donnent des signes de dépérissement vers 280-300 ans* » (Aménagement de la forêt territoriale de Aitone ; anon. 1992).

Cependant, les forestiers reconnaissent actuellement que dans le cas d'une sylviculture intensive continue, ils réduisent fortement le cycle naturel de vie du pin laricio (Anon. 2006).

Sur des terrains dont les conditions sont qualifiées de « *très favorables* » et où se pratique une sylviculture intensive, comme c'est le cas dans les deux forêts étudiées, les auteurs des aménagements préconisent une exploitabilité à 120-140 ans avec un diamètre de 65-75 cm. Sur des terrains aux conditions « *moyennes* », ces paramètres sont respectivement de 160-180 ans et de 60-70 cm. On peut alors craindre les conséquences pour les sittelles corses d'une systématisation du diamètre d'exploitabilité à 70 cm dans ces catégories. Avec un tel rythme de rajeunissement de la forêt, les sittelles voient leur habitat disparaître quand celui-ci commence à être favorable, et les stades de régénération restent inhabitables pendant plus d'un siècle après les coupes. Quand l'habitat devient favorable, il ne peut être occupé par l'espèce que pendant un intervalle de 20 à 50 ans seulement, alors qu'il pourrait l'être pendant un à deux siècles voire plus.

4.2.2. *Quel mode de traitement sylvicole de la futaie adopter ?*

En sylviculture du pin laricio, les forestiers distinguent essentiellement trois modes de traitement : (i) la **futaie régulière** dans laquelle « *chaque unité de gestion (de 5 à 20 hectares en moyenne) est soumise à parcourue par un seul type d'opération sylvicole* », (ii) la **futaie irrégulière par parquets ou par bouquets** où « *à l'intérieur des unités de gestion sont identifiées des zones réduites (de 0,5 hectares à 2 hectares maximum) où s'exerce l'opération sylvicole unique* », et enfin (iii) la **futaie irrégulière pied à pied** où « *chaque unité de gestion est parcourue périodiquement par une coupe qui réalise à la fois les opérations de régénération et d'amélioration du peuplement, suivie par des travaux* » (Anon. (2006).

Le traitement en **futaie régulière** est clairement incompatible avec le maintien dans les parquets des sittelles sur leur territoire, puisque la superficie dégagée lors de la coupe définitive est supérieure à celle d'un ou plusieurs territoires. Les deux autres pratiques peuvent être compatibles avec le maintien des sittelles à un certain nombre de conditions :

- a) avec la **futaie irrégulière par parquets ou par bouquets**, il faut (i) réduire la superficie des coupes à 2 ha voire moins, (ii) travailler l'emplacement et la forme des

parquets de façon à ce qu'il n'y ait pas de coupes qui puissent se jouxter tant que l'une n'a pas récupéré un peuplement mature, et enfin (iii) maintenir en position centrale au sein de la parcelle un îlot de fort vieillissement dont plusieurs territoires peuvent bénéficier.

- b) La **futaie irrégulière pied à pied** permet de conserver toutes les classes d'âge de pins, offrant aux sittelles, et aux oiseaux forestiers en général, une structure irrégulière des peuplements, bien que cela ne soit pas l'objectif (Anon. 2006). Cependant, il s'y pose tout de même la contrainte de ne pas couper uniquement les plus « gros bois », puisque ce sont les plus favorables à la sittelle en termes d'habitat et de ressources alimentaires hivernales. Un certain nombre d'entre eux, équitablement répartis dans la parcelle, peuvent en outre faire office de « vieilles réserves » pour assurer son ensemencement.

4.2.3. *Superficie et forme des coupes*

Les données quantitatives sur les coupes (conduisant à des coupes définitives) entreprises dans les deux forêts étudiées au cours de la dernière décennies sont les suivantes (ONF, comm. pers.) :

- Aitone : on relevait au cours de la période (1991-2003) 28 coupes d'une superficie moyenne de 2,11 ha ($\pm 1,45$) et totalisant 58,17 ha.
- Valdoniellu : on relevait au cours de la période (1992-2001) 26 coupes d'une superficie moyenne de 5,86 ($\pm 3,1$ ha) et totalisant 152,4 ha.

Alors que la pratique de sylviculture indiquée dans les aménagements des deux forêts étudiées se réfère à la **futaie régulière**, l'hétérogénéité de la superficie des parquets indique qu'en fait la sylviculture en **futaie irrégulière par parquets** est également pratiquée : il y a des grands parquets d'une superficie supérieure à 10 ha et des petits de 2 ha à peine. La superficie de ceux-ci, bien que variable selon les aménagements, a actuellement plutôt tendance à diminuer, passant d'une quinzaine d'hectares dans les années 1970 à souvent moins de 10 ha actuellement.

Les sittelles n'ayant pas fait l'objet de marquage individuel dans les deux massifs étudiés, nous n'y possédons pas d'informations sur les conséquences directes des coupes sur cet oiseau. En revanche, nous en avons obtenu dans un autre massif, la forêt territoriale de Melu, où des individus avaient été bagués (marquage colorée) en 1999 avant les coupes, et ont été recherchés après les coupes. Dans cette forêt, les trois couples de sittelle qui fréquentaient partiellement un parquet de 4 ha se sont maintenus à l'extérieur après la coupe. En revanche, les quatre couples qui occupaient un parquet de 14,5 ha ont disparu. La superficie du parquet est donc déterminante : au-delà de 2-4 ha, les sittelles disparaissent. Rappelons qu'en raison de la saturation des capacités de l'habitat, il n'est pas évident que ces individus puissent trouver de territoires de substitution, de sorte qu'ils doivent être considérés comme perdus pour la population de l'espèce.

Il est important aussi de tenir compte de la forme (« design ») des coupes. Il faut notamment éviter que deux coupes se jouxtent au cours de la même révolution sylvicole. Le cas le plus démonstratif a été observé également dans la forêt du Melu où les coupes

pratiquées ces 10 dernières années ont représenté 21% de la superficie de la forêt en production (463 ha, SGP exclus). Six parquets sur 13 avaient une superficie supérieure à 5 ha, et quatre parquets qui formaient une zone uniforme totalisaient une superficie de 44 ha. Nous estimons qu'une vingtaine de territoires occupés par des sittelles ont disparu de cette forêt en dix ans à la suite des coupes.

Les coupes réalisées dans les futaies régulières sont défavorables à plusieurs titres pour les sittelles. La coupe d'ensemencement laisse certes de gros pins riches en cônes et donc attractifs, mais leur isolement et leur éloignement (plusieurs dizaines de mètres) les rendent peu attractifs et exploitables par les sittelles, et augmentent les risques de prédation. Après la phase suivante, c'est-à-dire la coupe définitive, la parcelle ne peut pas être réoccupée par les sittelles avant un siècle, le temps que des peuplements âgés se reconstituent. Dans les coupes d'une superficie supérieure à deux-trois ha, il est donc très recommandé de laisser des bosquets en position centrale, reliés entre par des « corridors » arborés permettant aux oiseaux de se déplacer d'arbres en arbres avec des vols courts.

4.2.4. Cas des coupes d'éclaircie : nombre de tiges à l'hectare nécessaires au maintien des sittelles

La visite de coupes d'éclaircie effectuées dans plusieurs forêts corses bénéficiant du régime forestier montre une assez grande variabilité dans la distance moyenne entre les troncs non martelés. Cette variabilité est liée à la configuration du terrain, mais également à des pratiques sylvicoles qui diffèrent selon les agents.

Il y a en moyenne 24 gros brins.ha⁻¹ (de plus de 60 cm) sur nos points sans sittelles, et 50 sur les points avec nids. On peut donc en déduire que la distance entre gros brins ne doit pas être supérieure à 35-40 m environ. Mais dans le jeu de données analysé dans le présent travail, ces gros brins sont en fait toujours accompagnés de brins plus petits (avec une densité moyenne, tous diamètres supérieurs à 20 cm confondus, de l'ordre de 140 brins.ha⁻¹). Même s'ils sont de peu d'utilité pour la sittelle en ce qui concerne son alimentation ou sa nidification, les petits brins facilitent son déplacement sur son territoire. Nos données ne nous permettent pas de calculer la densité minimale de gros brins pour le maintien des sittelles lorsque tous les diamètres plus fins ont été éliminés. Nous avons vu par ailleurs que la distance entre l'arbre du nid et l'arbre (de plus de 20 cm de diamètre) le plus proche doit être de l'ordre de 5 à 6 m, et ne doit pas être supérieure à une vingtaine de mètres.

4.2.5. Faut-il laisser des bouquets et des arbres morts dans les coupes ?

Le maintien d'arbres morts et de bouquets, recommandé dans le présent rapport, est de plus en plus souvent souhaité à la fois dans les recommandations concernant la conservation des oiseaux forestiers (Steeger & Hitchcock 1998) et dans les aménagements en cours ou en préparation (ONF). Ces actions peuvent se révéler bénéfiques pour les sittelles, mais le choix de leur emplacement mérite d'être discuté. Trop isolés des autres arbres, chandelles et bouquets peuvent constituer un piège pour les sittelles car, en volant à découvert, elles risquent d'être victimes de prédateurs volants. Nous avons vu que les chandelles abritant des sites de nids étaient toujours situés à moins de 20 m d'un autre arbre ; on bannira donc le

maintien de chandelles isolées au milieu d'une coupe. Plutôt que des arbres isolés, il est préférable de maintenir des bouquets constitués de plusieurs arbres dont la position ne devra pas être isolée au centre de la coupe. L'idéal est de laisser un couloir d'arbres matures que les oiseaux pourront utiliser pour y accéder.

4.2.6. Comment le forestier peut-il évaluer la qualité d'un habitat pour les sittelles ?

La surface terrière, si utile au forestier pour estimer le volume de bois d'une parcelle, n'est pas un bon critère pour évaluer sa valeur pour les sittelles car cette mesure ne donne pas d'indication sur le diamètre des arbres, qui constitue le critère le plus important. En effet, une parcelle comportant beaucoup d'arbres dont le diamètre est moyen peut avoir une surface terrière supérieure à celle d'une futaie claire boisée essentiellement de gros bois qui se révélera être plus favorable aux sittelles. Pour évaluer l'intérêt d'une parcelle pour les sittelles, il faut :

- a) Vérifier le nombre de tiges/ha dont les diamètres correspondent aux valeurs données dans le § résultats, réparties sur une zone d'au moins 3 ha [des bosquets de faible superficie (3-5ha) et très isolés, mais de bonne qualité, peuvent abriter un couple mais un seul],
- b) Contrôler la qualité des chandelles. Celles qui ne comportent pas de loge de sittelles peuvent être suspectées de ne pas convenir (tronc encore complètement enveloppé par son écorce adhérente, bois trop dur,...).
- c) Contrôler l'isolement des chandelles. En effet, les chandelles porteuses de nids sont distantes de moins de 20 m des autres arbres. Cette distance maximale entre deux pins permet des déplacements sûrs pour la sittelle, et minimise les risques de prédation aérienne lorsqu'elle vole à découvert (Rodriguez et al. 2001).

Conclusions

On sait aujourd'hui que la présence en Corse du pin laricio est antérieure aux dernières grandes glaciations et à l'arrivée de l'homme (Afzal-Rafii & Dodd 2007). Ce sont les interventions humaines depuis moins d'une dizaine de millénaires qui ont abouti à la réduction importante de son aire de répartition dans l'île. Cette réduction a été en partie stoppée au 19^{ème} siècle par l'inscription au régime forestier des derniers massifs, qui a permis de maintenir à la fois la superficie boisée et la qualité des peuplements grâce à des rotations forestières longues. Cependant, au 21^{ème} siècle, face à des projets d'intensification de l'exploitation, plusieurs éléments justifient une meilleure conservation des vieux peuplements de pin laricio. Ce sont :

- 1) l'importance du laricio en terme de biodiversité, puisque c'est une forme endémique insulaire qui abrite plusieurs oiseaux (espèces ou sous-espèces) endémiques,
- 2) la superficie très faible et la répartition fragmentée de cette essence originale, actuellement artificiellement cantonnée aux étages forestiers moyens et supérieurs,

- 3) l'impact des incendies, qui risque d'augmenter avec le réchauffement, qui a pour conséquence un rajeunissement drastique des peuplements en cas de bonne régénération, et qui favorise le pin maritime au dépend du laricio,
- 4) la quantité très limitée de la ressource « gros bois », avec un épuisement prévisible rapide des plus gros diamètres dans les forêts desservies par des pistes,
- 5) la valeur paysagère et l'attrait touristique des vieux peuplements de laricio (randonnées, séjours et écotourisme)

Le rôle-clé des vieilles forêts de laricio dans la conservation de la sittelle corse, et leur statut de paysage emblématique de la montagne corse, amènent à poser sérieusement la question du bien fondé d'une intensification de l'exploitation forestière de ce pin insulaire, dans une perspective de conservation durable de la sittelle. En revanche, on ne peut que recommander d'augmenter par tout moyen approprié la surface couverte par cette essence dans l'île, notamment en favorisant ce pin endémique au dépend du pin maritime de moindre valeur au point de vue conservation.

Références

- Afzal-Rafii, Z. & Dodd, R.S. 2007. Chloroplast DNA supports a hypothesis of glacial refugia over postglacial recolonization in disjunct populations of black pine (*Pinus nigra*) in western Europe. *Molecular Ecology* 16: 723-736.
- Anon. 1975. Forêt domaniale de Valdoniello. Aménagements (1975-2004). Office national des forêts.
- Anon. 1992. Forêt domaniale de Valdoniellu. Révision d'aménagement (1992-2006). Office national des forêts.
- Anon. 1992. Forêt domaniale d'Aitone. Révision d'aménagement (1991-2005). Office national des forêts.
- Anon. 2006. Contribution à la conduite des peuplements de pin laricio et habitats associés. Tome 2, Enjeux et gestion. Office national des forêts. Pierron, Sarreguemines.
- Andersson, F.O., Feger, K.-H., Hüttl, R.F., Kräuchi, N., Mattsson, L., Sallnäs & Sjöberg, K. 2000. Forest ecosystem research – priorities for Europe. *Forest Ecology and Management* 132: 111-119.
- Bourcet, J. 1996. Aperçu sur deux siècles d'histoire forestière en Corse. *Revue Forestière Française* 48 : 563-580.
- Dubourdieu, J. 1997. *Manuel d'aménagement forestier. Gestion durable et intégrée des écosystèmes forestiers*. Ed. Lavoisier, Paris.
- Gamisans, J. 1999. *La végétation de la Corse* (2^{ème} éd.). Édisud, Aix-en-Provence.
- Ganey, J.L., Block, W.M., Jenness, J.S. & Wilson, R.A. 1998. Mexican Spotted Owl Home Range and Habitat Use in Pine-Oak Forest : Implications for Forest Management. *For. Sci.* 45: 127-135.
- Imbeau, L. Mönkkönen, M. & Desrochers, A. 2001. Long-term effects of forestry on birds of the Eastern Canadian Boreal Forests: a Comparison with Fennoscandia. *Conservation Biology* 15: 1151-1162.
- Klaus, S. & Bergmann, H.H. 1994. Distribution, status and limiting factors of Capercaillie (*Tetrao urogallus*) in Central Europe, particularly in Germany, including an evaluation of introductions. *Gibier Faune Sauvage, Game and Wildlife* 11 (Special number Part 2): 57-80.
- North, M., Franklin, J.F., Carey, A.B., Forsman, E.D. & Hamer, T. 1999. Forest Stand Structure of the Northern Spotted Owl's Foraging Habitat. *Forest Science* 45: 520-527.
- Perennou, C., Sadoul, N., Pineau, O., Johnson, A. & Hafner, H. 1996. Gestion des sites de nidification des oiseaux d'eau coloniaux. Conservation des zones humides méditerranéennes n°4. Tour de Valat, Arles, France.
- Petty, S.J. & Avery, M.I. 1990. Forest Bird Communities. A review of the ecology and management of forest bird communities in relation to silvicultural practices in the British uplands. Forestry Commission Occasional paper 26. Forestry commission, Edinburgh, U.K.
- Prodon, R. 1988. Dynamique des systèmes avifaune-végétation après déprise rurale et incendies dans les Pyrénées méditerranéennes siliceuses. Thèse de doctorat d'état, Paris 6.
- Prodon, R. (2002). Première évaluation de l'impact à court terme des incendies sur les forêts de Pin laricio (habitat prioritaire de l'annexe 1 de la directive 92/43/CEE) et leur avifaune dont la Sittelle corse (espèce de l'annexe 1 de la directive 79/409/CEE). Montpellier, DIREN de Corse/Laboratoire de Biogéographie et Ecologie des Vertébrés, EPHE: 19 p. + 7 figures.
- Rota, M.P. & Cancellieri, J.-A. 2001. De la nature à l'histoire. Les forêts de la Corse. Ed. Alain Piazzola, Ajaccio.
- Rodriguez, A., Andrén, H. & Jansson, G. 2001. Habitat-mediated predation risk and decision making of small birds at forest edges. *Oikos* 95: 383-396.
- Schieck, J. & Hobson, K.A. 2000. Bird communities associated with live residual tree patches within cut blocks and burned habitat in mixewood boreal forests. *Can. J. For. Res.* 30: 1281-1295.

- Steeger, C. & Hitchcock, C.L. 1998. Influence of forest structure and diseases on nest-site selection by Red-breasted Nuthatches. *Journal of Wildlife Management* 62: 1349-1358.
- Thibault, J.-C., Prodon, R. & Moneglia, P. 2004. Impact des incendies de l'été 2000 sur l'effectif d'une espèce endémique menacée: la Sittelle corse (*Sitta whiteheadi*). *Ecologia Mediterranea* 30 : 63-71.
- Thibault, J.-C., Prodon, R., Villard, P. & Seguin, J.-F. 2006. Habitat requirements and foraging behaviour of the Corsican nuthatch (*Sitta whiteheadi*). *J. Avian Biology*. 37: 477-486.
- Thibault, J.-C., Seguin J.-F., & Norris, K. 2001. Plan de restauration de la sittelle corse. Parc naturel régional de Corse Parcu di Corsica. Travail réalisé à la demande de la Direction de la Nature et des Paysages et de la DIREN de Corse , Ministère chargé de l'Environnement : 52 p.
- Thibault, J.-C. & Villard, P 2005. Reproductive ecology of the Corsican Nuthatch. *Bird Study*. 52, 282-288.
- Väisänen, R.A., Järvinen, O. & Rauhala, P. 1986. How are extensive, human-caused habitat alterations expressed on the scale of local bird populations in boreal forests ? *Ornis Scandinavica* 17: 282-292.