

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

ECOLE PRATIQUE DES HAUTES ETUDES

Sciences de la Vie et de la terre

MEMOIRE

présenté

par

Pascal DENIS

pour l'obtention du diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes

**L'AVIFAUNE NICHEUSE
DES FORETS RHENANES ALSACIENNES :**

RELATIONS AVEC LE MILIEU

**ET MISE EN PERSPECTIVE
GEOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE**

Soutenu le 6 avril 2009 devant le jury suivant :

M. Bruno DELESALLE – Président
M. Christopher CARCAILLET – Rapporteur
M. Jacques BLONDEL – Examineur
M. Bernard FROCHOT – Examineur
M. Vincent GODREAU – Examineur
M. Roger PRODON – Encadrant

Mémoire préparé sous la direction de : Roger PRODON

Laboratoire d'Ecologie et Biogéographie des Vertébrés, EPHE

UMR 5175, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS MONTPELLIER

Remerciements

Je tiens à remercier bien sincèrement et en premier lieu Bruno FAIVRE (professeur au laboratoire BioGéoSciences à l'Université de Bourgogne à Dijon) qui m'a soutenu et aidé dans la mise en œuvre de ce projet. Sans lui, ce projet n'aurait pas été concrétisé.

Je remercie également pour leur appui sans faille à ma démarche mes collègues de l'Office National des Forêts (ONF) Christophe GALLEMANT et Laurent TILLON (Direction de l'Environnement et du Développement Durable à Paris), Alain PERTHUIS (réseau avifaune à Orléans) et Yves MATHIEU (DRH à Velaine en Haye). Mon projet n'aurait pas abouti sans leur aide.



J'ai sollicité de nombreuses personnes pour la bibliographie, en particulier M Louis DEMEZIERES et Mme Françoise PRUNIER bibliothécaires à la Société d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar, mon ami François STEIMER grand connaisseur des forêts rhénanes, et son épouse Gill du Conseil de l'Europe, Georg FRANK ornithologue au Parc National du Danube en Autriche, Alain JOVENIAUX président du Groupe Ornithologique du Jura, Jean-Luc DESSOLIN Agence départementale ONF du Jura, Paul ISENMANN du CNRS de Montpellier, Frédéric ARCHAUX du CEMAGREF de Nogent sur Vernisson : je les remercie très sincèrement pour leur aide indispensable.

J'ai dû affronter le logiciel R, je n'en suis sorti vainqueur que grâce aux personnels du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CNRS/EPHE) de Montpellier : je remercie en particulier Karine JACQUET et Claude-Pierre GUILLAUME.

Mes voisins de bureau à COLMAR Johann BEAUVERY, Emmanuel FREMION et Alain HEISSAT, spécialistes de la cartographie informatique, ont toujours répondu à mes demandes, même si elles leurs semblaient parfois contradictoires ou absconses : un grand merci à eux !

Le regard différent de mes amis ornithologues sur le terrain, qui ont eux aussi traîné leurs bottes en forêt rhénane, m'a parfois ouvert les yeux : je remercie en particulier le Dr Frank HOHLFELD (Centre de recherche forestière à Freiburg im Breisgau, Allemagne) et Boris GUERIN (Agence ONF de Colmar).

Roger PRODON (directeur du laboratoire d'Ecologie et Biogéographie des Vertébrés à Montpellier) m'a fait bénéficier de toute sa science statistique et ornithologique, en mettant sa pédagogie à contribution : je lui en suis particulièrement reconnaissant. Ce mémoire lui doit beaucoup.

Remerciement particulier à Eric DURAND (du Service d'Appui Technique de l'ONF à Colmar), collègue et ami qui m'a transmis son amour des forêts rhénanes : c'est sans doute grâce à lui que ce travail est réalisé.

Merci à Sylvie PIERRON qui a corrigé les fôtes.

Merci enfin et mille excuses aux personnes que j'aurais oubliées.

Un remerciement particulier à Jacques BLONDEL, Bernard FROCHOT et Vincent GODREAU qui m'ont fait le grand plaisir d'accepter d'être de mon jury.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS	5
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES FIGURES	6
<u>1. INTRODUCTION</u>	<u>8</u>
1.1. L'AVIFAUNE DES MILIEUX FORESTIERS RHENANS	8
1.2. L'AVIFAUNE FORESTIERE EN PLAINE D'ALSACE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	9
1.2.1. LES FORETS RHENANES FRANCO-ALLEMANDES	9
1.2.2. LES AUTRES FORETS DE LA PLAINE ALSACIENNE	10
1.3. PROBLEMATIQUE ET QUESTIONS POSEES	11
<u>2. LE CADRE GEOGRAPHIQUE</u>	<u>12</u>
2.1. LA PLAINE D'ALSACE	12
2.2. LE RHIN ET LES FORETS RHENANES	14
2.2.1. LE RHIN	14
2.2.2. LA VALLEE DU RHIN FRANÇAISE	16
2.2.3. LES FORETS RHENANES	17
2.3. LE MASSIF DE LA HARDT ; LES FORETS DE LA HARDT NORD	18
2.4. LES FORETS ELLANES	18
2.5. LE MASSIF DE HAGUENAU ET LES FORETS PERIPHERIQUES	19
<u>3. L'AVIFAUNE ET LE MILIEU FORESTIER EN PLAINE D'ALSACE : METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE STATISTIQUE 20</u>	
3.1. PLAN D'ECHANTILLONNAGE	20
3.2. METHODOLOGIE DES RELEVES D'AVIFAUNE	21
3.2.1. LES RELEVES DE TERRAIN	21
3.2.2. LES RELEVES EFFECTUES SUR LE TERRAIN	23
3.3. LE RELEVÉ DES VARIABLES DE MILIEU	28
3.4. L'ANALYSE STATISTIQUE	30
3.5. PATRIMONIALITE	31
<u>4. ANALYSE DES RELATIONS AVIFAUNE NICHEUSE / MILIEU FORESTIER DANS LES FORÊTS RHENANES</u>	<u>32</u>
4.1. LE MILIEU FORESTIER RHENAN	32
4.1.1. RESULTATS BRUTS	32
4.1.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE DU MILIEU	32
4.2. L'AVIFAUNE DES FORETS RHENANES	37
4.2.1. LES ESPECES ET LEURS ABONDANCES	37

4.2.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE AVIFAUNISTIQUE DANS LES FORETS RHENANES	42
--	----

5. L'AVIFAUNE FORESTIERE RHENANE DANS SON CONTEXTE REGIONAL

47

5.1. LES FORETS DE LA PLAINE D'ALSACE	47
5.1.1. CARACTERISTIQUES MOYENNES DU MILIEU ETUDIE	47
5.1.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE DU MILIEU	50
5.2. L'AVIFAUNE FORESTIERE EN PLAINE D'ALSACE	53
5.2.1. LES ESPECES ET LEURS ABONDANCES	53
5.2.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE AVIFAUNISTIQUE DANS LES FORETS DE LA PLAINE D'ALSACE	64

6. DISCUSSION

77

6.1. LES VARIATIONS DE COMPOSITION DE L'AVIFAUNE	77
6.1.1. LES RELATIONS AVEC LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	77
6.1.2. NON ORIGINALITE DES FORETS RHENANES	78
6.2. RICHESSE, DIVERSITE ET PATRIMONIALITE	80
6.3. LA QUESTION DES DENSITES	83
6.4. EVOLUTION DIACHRONIQUE DE L'AVIFAUNE DES FORETS RHENANES	88

7. CONCLUSION

92

BIBLIOGRAPHIE

94

ANNEXES

99

1. Inventaires ornithologiques dans les forêts rhénanes franco-allemandes
2. Evolution historique de quelques espèces d'oiseaux en forêt rhénane
3. Synthèses spécifiques : les espèces d'oiseaux des forêts de la plaine d'Alsace

LISTE DES ABBREVIATIONS

Oiseaux

Acar	rousserolle turdoïde
Acge	autour des Palombes
Acni	épervier d'Europe
Acps	rousserolle verderolle
Acsi	rousserolle effarvatte
Aeca	mésange à longue queue
Alar	alouette des champs
Alat	martin-pêcheur d'Europe
Anpl	canard colvert
Anst	canard chipeau
Antr	pipit des arbres
Arci	héron cendré
Asot	hibou moyen-duc
Ayfu	fuligule morillon
Bute	buse variable
Cach	verdier d'Europe
Card	chardonneret élégant
Cebr	grimpereau des jardins
Cefa	grimpereau des bois
Ciae	busard des roseaux
Cocc	grosbec casse-noyaux
Cocn	corneille noire
Cooe	pigeon colombin
Copa	pigeon ramier
Cuca	coucou gris
Cyol	cygne tuberculé
Dema	pic épeiche
Deme	pic mar
Demi	pic épeichette
Drma	pic noir
Emct	bruant jaune
Emsc	bruant des roseaux
Erru	rouge-gorge familier
Fasu	faucon hobereau
Fati	faucon crécerelle
Fihy	gobemouche noir
Frco	pinson des arbres
Fuat	foulque macroule
Gach	gallinule poule d'eau
Gagl	geai des chênes
Hiic	hypolaïs icterine
Ixmi	blongios nain
Jyto	torcol fourmilier
Laco	pie-grièche écorcheur
Lona	locustelle tachetée

Lume	rossignol philomèle
Mimg	milan noir
Moal	bergeronnette grise
Must	gobemouche gris
Orio	loriot d'Europe
Paat	mésange noire
Paca	mésange bleue
Pacr	mésange huppée
Pama	mésange charbonnière
Papa	mésange nonnette
Parm	mésange boréale
Pasm	moineau friquet
Perd	perdrix grise
Phcc	faisan de Colchide
Phco	pouillot véloce
Phoc	rougequeue noir
Phsi	pouillot siffleur
Phtr	pouillot fitis
Pica	pie bavarde
Picn	pic cendré
Pivi	pic vert
Prmo	accenteur mouchet
Pyra	bouvreuil pivoine
Raaq	râle d'eau
Regu	roitelet huppé
Reig	roitelet triple-bandeau
Sato	tarier pâtre
Seri	serin cini
Sieu	sittelle torchepot
Stde	tourterelle turque
Sttu	tourterelle des bois
Stvu	étourneau sansonnet
Syat	fauvette à tête noire
Sybo	fauvette des jardins
Sycm	fauvette grisette
Stra	chouette hulotte
Taru	grèbe castagneux
Trog	troglydte mignon
Tuil	grive mauvis
Tume	merle noir
Tuph	grive musicienne
Tupi	grive litorne
Tuvi	grive draine
Upep	huppe fasciée

Milieu

A	<i>strate arborescente</i>
a	<i>strate arbustive</i>
alt	altitude
AUL	aulne
autF	autres feuillus
autR	autres résineux
BOU	bouleau
CHA	charme
CHE	chênes
d	distance à la lisière externe
DOU	douglas
Eau	Eaux
EPC	épicéa
ERS	érables
fou	fouffés
FRE	frêne
fut	futaie
Gt	surface terrière totale
H	hauteur des plus grands arbres
HET	hêtre
hg	plaine de Haguenau (région naturelle)
ht	Hardt (région naturelle)
i	plaine de l'III (région naturelle)
lnap	profondeur de la nappe, en log(2)
mas	grandeur du massif forestier
MER	merisier
P.S	pin sylvestre
per	perchis
PEU	peupliers
phr	phragmitaies
r	vallée du Rhin (région naturelle)
ROB	robinier
SAU	saules
TIL	tilleuls
x	longitude
y	latitude

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I – Bibliographie ornithologique forestière quantitative dans les forêts rhénanes	10
Tableau II – Publications présentant des listes d'espèces rhénanes nicheuses	10
Tableau III - Bibliographie ornithologique forestière quantitative dans les forêts de la plaine alsacienne (hors forêts rhénanes)	11
Tableau IV - Surfaces forestières rhénanes au sein du fossé d'effondrement	17
Tableau V – Inventaires réalisés par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne	24
Tableau VI - Caractéristiques moyennes du milieu forestier rhénan étudié	33
Tableau VII - Quadrats réalisés par l'auteur en forêt rhénane : résultats	38
Tableau VIII – IPA moyens, fréquences et densités obtenues par conversion des IPA des espèces rencontrées en forêt rhénane.	39
Tableau IX – IKA réalisés par l'auteur en forêt rhénane	41
Tableau X – Relations linéaires entre oiseaux et variables du milieu en forêt rhénane	42
Tableau XI – Caractéristiques forestières moyennes des régions naturelles de la plaine d'Alsace	49
Tableau XII – Différences statistiquement significatives sur les variables entre régions naturelles de la plaine d'Alsace	49
Tableau XIII – Fréquences dans les IPA des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne	54
Tableau XIV – Quadrats réalisés par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne	55
Tableau XV – IPA moyens des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne	57
Tableau XVI – Densités moyennes aux 10 ha (IPA convertis en densités) des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne	58
Tableau XVII – Relations linéaires entre oiseaux et variables du milieu en forêt de plaine alsacienne	59
Tableau XVIII – Principales caractéristiques de richesse et densités avifaunistiques dans les régions forestières en plaine d'Alsace	60
Tableau XIX – Principales caractéristiques de richesse et densités avifaunistiques dans différents types forestiers en plaine d'Alsace	61
Tableau XX – Indices de similarité de Sørensen sur les présences entre régions naturelles en plaine d'Alsace	62
Tableau XXI Indices de similarité de Steinhaus sur les abondances entre régions naturelles en plaine d'Alsace	62
Tableau XXII Groupes d'espèces et groupes de relevés définis en plaine d'Alsace après AFC sur le tableau initial relevés x espèces suivi d'une CAH sur les relevés et d'une CAH sur les espèces	70
Tableau XXIII Caractéristiques forestières moyennes des groupes de relevés définis par AFC puis CAH sur le tableau initial relevés x espèces	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – L'Alsace : régions naturelles, altitudes et isohyètes	13
Figure 2 – Le Rhin et son bassin versant	15
Figure 3 – Localisation des inventaires ornithologiques réalisés par l'auteur dans les forêts de la plaine d'Alsace.	25
Figure 4 – Cercle des corrélations issu de l'ACP sur variables structurelles en forêt rhénane	32
Figure 5 – Cercle des corrélations issu de l'ACP sur variables topographiques en forêt rhénane. Plan F1 F2.	34
Figure 6 - AFC sur les essences en forêt rhénane. Plan F1 F2	35
Figure 7 - AFCVI essences / structure en forêt rhénane. Plan F1 F2	36
Figure 8 - AFCVI essences / structure en forêt rhénane. Plan F1 F3	36
Figure 9 - AFCVI essences / topographie en forêt rhénane. Plan F1 F3	37
Figure 10 – Densité aux 10 ha en fonction de la richesse au point en forêt rhénane	43
Figure 11 - AFC sur les espèces d'oiseaux en forêt rhénane. Plan F1 F2.	43
Figure 12 - Seconde AFC sur les espèces d'oiseaux en forêt rhénane, sans les oiseaux d'eau. Plan F1 F2	44
Figure 13 - AFCVI oiseaux / structure en forêt rhénane. Plan F1 F2	44

Figure 14 - AFCVI essences / structure en forêt rhénane. Plan F1 F3	45
Figure 15 - AFCVI oiseaux / essences en forêt rhénane. Plan F1 F2	45
Figure 16 - AFCVI oiseaux / essences en forêt rhénane. Plan F1 F3	46
Figure 17 - AFCVI oiseaux / topographie en forêt rhénane. Plan F1 F2	46
Figure 18 – Cercle des corrélations issu de l’ACP sur les variables structurelles en forêts alsaciennes de plaine	50
Figure 19 – Polygones convexes groupant les relevés par régions forestières de la plaine d’Alsace issu de l’ACP sur les variables structurelles. Plan F1 F2.	50
Figure 20 – AFC sur essences en forêts alsaciennes de plaine. Plan F1 F2	51
Figure 21 – Etoiles reliant les relevés par région à leur centre de gravité dans le plan factoriel issu de l’ACP sur essences en forêts de plaine d’Alsace. Plan F1 F2.	51
Figure 22 – AFCVI essences / structure dans les forêts de la plaine alsacienne. Plan F1 F2.	52
Figure 23 – AFCVI essences / structure dans les forêts de la plaine alsacienne. Plan F1 F3.	53
Figure 24 – Richesse au point par IPA dans chacune des régions forestières de la plaine d’Alsace : moyenne, premier et troisième quartile, minimum et maximum.	60
Figure 25 – Densité aux 10 ha en fonction de la richesse au point dans les forêts de la plaine alsacienne.	61
Figure 26 – AFC sur oiseaux en forêts de plaine d’Alsace. Plan factoriel des relevés regroupés par régions naturelles, et plan factoriel des espèces. Plan F1 F2.	63
Figure 27 – AFC sur oiseaux en forêts de plaine d’Alsace. Plan factoriel des relevés regroupés par régions naturelles, et plan factoriel des espèces. Plan F1 F3.	63
Figure 28 – AFCVI oiseaux / structure dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.	65
Figure 29 – Seconde AFCVI oiseaux (sans les oiseaux d’eau) / structure dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.	65
Figure 30 – AFCVI oiseaux / topographie dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.	66
Figure 31 – AFCVI oiseaux / topographie dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.	67
Figure 32 – AFCVI oiseaux / topographie dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F3.	67
Figure 33 – Distances entre régions naturelles de la plaine d’Alsace sur la base de l’indice de Steinhaus (similarité avifaunistique calculée sur les abondances). La distance est égale à 1 – cet indice.	74
Figure 34 – Distances entre régions naturelles de la plaine d’Alsace sur la base de l’indice de Sørensen (similarité avifaunistique calculée sur les présences). La distance est égale à 1 – cet indice.	74
Figure 35 – Richesse moyenne au point d’inventaire en fonction de la latitude (coordonnées Lambert II étendu) en forêt rhénane.	76
Figure 36 – Richesse spécifique (nombre d’espèces par relevé, en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).	77
Figure 37 – IPA moyen de la Mésange bleue (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).	78
Figure 38 – IPA moyen de la Grimpereau des jardins (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).	78
Figure 39 – IPA moyen de la Gobemouche noir (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).	78
Figure 40 – Densités aux 10 ha relevées dans les quadrats réalisés en forêt rhénane franco-allemande depuis 1965. En pointillé, densité cumulée de l’Etourneau sansonnet et du Moineau friquet.	80
Figure 41 – Densités spécifiques aux 10 ha mesurées dans les quadrats rhénans (en premier, DRONNEAU 1995 ou 2007).	82
Figure 42 – Moyennes des densités totales aux 10 ha obtenues sur les différents quadrats forestiers en forêt rhénane franco-allemande au cours des quarante dernières années.	84
Figure 43 – AFC sur les densités en oiseaux nicheurs en forêt rhénane d’une part à partir des données bibliographiques moyennes par décennie (70-80, 80-90, 90-2000), d’autre part à partir des ipa convertis en densités (présente étude). Plan F1 F2.	86

1. INTRODUCTION

1.1. L'AVIFAUNE DES MILIEUX FORESTIERS RHENANS

Intérêt et importance des forêts alluviales

Les forêts associées aux grandes vallées alluviales européennes présentent à la fois une vraie originalité et une grande rareté :

- Originalité temporelle par leur sylvigénèse : lorsque les rivières sont encore libres, leur divagation est à l'origine de cycles de régénération forestière qui prennent leur origine dans des phénomènes violents de crue et d'érosion (SCHNITZLER-LENOBLE, 2007).

- Originalité spatiale par leur structure complexe et hiérarchisée, multistratifiée (WALTER, 1974) et par un zonage de la végétation (CSA & ONF, 2004) imposé par les variations de la nappe phréatique (débordements ou remontée de la nappe, inondations) : forêts basses puis hautes à bois tendres, forêts à bois durs, levées sèches, zones asylvatiques.

- Originalité de leurs groupements végétaux, dont le déterminisme est davantage édaphique que climatique. Ils se caractérisent par l'absence du Hêtre, la forte présence d'essences pionnières, et une très grande diversité végétale (CARBIENER, 1970). C'est pourquoi ces forêts sont généralement dites « azonales » ou « intrazonales ». L'existence d'un gradient amont-aval (YON *et al.*, 1981) nous fait préférer le terme « intrazonales ».

- Rareté intrinsèque et d'origine (YON & TENDRON, 1981) : strictement inféodées aux dépôts alluvionnaires des grandes vallées à nappe phréatique superficielle, ces forêts sont rares par définition.

- Rareté accentuée par l'occupation humaine de très longue date, car, situées près des grandes voies navigables et souvent sur sols riches, ces forêts ont du subir au cours des siècles nombre de perturbations : défrichements pour l'agriculture, l'habitation, puis les industries, modifications intraforestières par la sylviculture. De nos jours, le domptage des grandes rivières associées (canalisation, barrages) met en cause jusqu'à leur existence même, par l'arrêt du moteur de leur dynamique. Les forêts alluviales ne peuvent en effet s'émanciper de leur contrainte hydrique sans perdre leur nature même.

Les forêts rhénanes répondent à tous ces critères, positifs et négatifs. Après bien des vicissitudes, elles sont maintenant à fort juste titre protégées ; on dénombre du côté français des forêts de protection (Ministère de l'Agriculture), des réserves naturelles (Ministère de l'Environnement), des réserves biologiques (créées à l'initiative de l'ONF), des Zones Spéciales de Conservation et des Zones de Protection Spéciales (dans le cadre du réseau européen Natura 2000), un site Ramsar (protection internationale des zones humides).

L'avifaune comme indicateur de richesse

L'avifaune est un bon sujet d'étude permettant d'approcher cette diversité forestière particulière : elle est bien connue et ne pose pas de problème d'identification ; elle est facile à étudier et les méthodes nécessaires sont connues et éprouvées (BLONDEL *et al.*, 1981). Considérée dans sa globalité, c'est un bon indicateur de la diversité du milieu : elle

est sensible à la structuration du milieu (PRODON & LEBRETON, 1981), les exigences de chaque guildes sont assez bien cernées (CRAMP *et al.* 1994).

Le centre de gravité et l'amplitude d'occupation des habitats de chaque espèce a été bien étudié au cours des cycles sylviculturaux simplifiés de la futaie régulière (FERRY & FROCHOT 1970, MULLER 1985). Toutefois, l'influence des paramètres forestiers en forêt irrégulière telles que les forêts rhénanes reste à préciser.

Mais les biais liés aux observateurs eux-mêmes existent et peuvent être importants (ARCHAUX 2002) ; la mise en parallèle de plusieurs études réalisées dans des conditions similaires par plusieurs auteurs est souvent indispensable, de même que la réplication d'études à méthodologie comparable dans des milieux différents par un même auteur aux fins de comparaisons.

L'avifaune forestière rhénane

L'intérêt ornithologique des forêts rhénanes est avéré. Nombre d'espèces trouvent dans ces milieux alluviaux leurs derniers refuges dans la région, surtout au niveau des enclaves non boisées intra forestières (bras d'eau, roselières, caricaies etc. ...). De nombreux auteurs se sont attachés à décrire et recenser les espèces et les milieux patrimoniaux. L'hétérogénéité spatiale et la complexité structurale de ces forêts permettent une grande richesse spécifique sur des surfaces limitées : la somme de toutes les observations permet de quantifier cette richesse. Les études de densités globales sont par contre exceptionnelles, et contradictoires ; les milieux étudiés jusqu'à présent sont à la fois peu nombreux et bien typés. Leurs auteurs n'ont généralement pas réalisés d'inventaires en dehors de ces forêts alluviales bien particulières, permettant de mettre en perspective leurs résultats.

1.2. L'AVIFAUNE FORESTIERE EN PLAINE D'ALSACE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.2.1. LES FORETS RHENANES FRANCO-ALLEMANDES

En préliminaire au présent travail, une recherche bibliographique relative aux publications mentionnant les oiseaux nicheurs des forêts rhénanes a été menée. La bibliographie d'ornithologie alsacienne (MULLER, 2000) en fût une base sérieuse mais non unique. Le Rhin n'est qu'une frontière politique mais en aucun cas naturelle puisqu'il constitue l'axe des écosystèmes alluviaux du fossé rhénan. Les publications

Tableau I. Bibliographie ornithologique forestière quantitative dans les forêts rhénanes

auteur de la publication	année de l'étude	année de publication	type d'inventaire	superficie		milieu	région
				longueur			
KEMPF (WESTERMANN)	1968	1973	quadrat	16 ha		saulaie - peupleraie	Alsace
HEYBERGER & KEMPF	1971	1971	5 IKA		5 x 1 km	milieux buissonnants secs	Alsace
KEMPF	1972	1972	quadrat	23 ha		frênaie - ormaie	Bade
LABHARDT	1975	1979	quadrat	21 ha		bras morts et milieux associés	Alsace
	1976-78		IKA		2,5 km (3x)	le long du canal	Alsace
FROELICH	1977	1977	5 quadrats	10 à 15 ha (total : 55 ha)		hêtraie, frênaie - aulnaie, frênaie - ormaie	Bade
ZENKER	1975-77	1980	6 quadrats contigus	13,3 à 24,8 (total : 111,9 ha)		frênaie - chênaie	Bade
(ZENKER père)	1969-71		mêmes quadrats		(total : 112,9 ha)		Bade
SPÁTH & GERKEN	1980	1985	13 quadrats	4,5 à 15 ha (total : 139,3 ha)		saulaie, chên-ormaise, peupl de culture, chên-charmaie	Als(1)-Bad(12)
DRONNEAU	1992-93	2007	3 quadrats emboîtés	10, 140, 625 ha		chênaie - frênaie	Alsace
	1994-95		IKA		2,15 km (2x)		
	1993	non publié	quadrat	10 ha		peupleraie de culture	Alsace
	1994		IKA		2,15 km	différents types forestiers rhénans	Alsace
ULLRICH	1999-2000	2001	2 quadrats emboîtés	15 et 75 ha		saulaie et chênaie - ormaie	Bade
LPO Alsace	2000	non publié	IPA 20 min		16 points	saulaie, chênaie - ormaie - frênaie, milieux ouverts	Alsace
	2000		quadrat	25,5 ha			Alsace
KOENIG	2002	non publié	6 IKA		0,5 à 1 km (total : 4,1 km)	différents types forestiers le long de bras d'eau	Alsace
LPO Alsace	2002	non publié	IPA 20 min		21 points	différents types forestiers rhénans	Alsace
	2003	non publié	IPA 20 min		11 points	différents types forestiers le long de bras d'eau	Alsace
RITTER	2003-04	non publié	IPA 20 min		30 points	différents types forestiers rhénans	Alsace
GUERIN	2003-04	non publié	2 quadrats	2 x 10 ha		chên-tillaie, chên-frênaie, saulaie	Alsace

germaniques ont donc été prises en compte autant que possible afin d'obtenir une vision globale de l'avifaune nicheuse de ces forêts.

Plusieurs types de documents existent :

- les études publiées prenant en compte la totalité de l'avifaune forestière nicheuse d'un site sont peu nombreuses. Les estimations quantifiées sont rares, ce qui est fort surprenant au regard du grand intérêt porté par les naturalistes aux milieux rhénans. Seuls sept inventaires quantifiant de manière « absolue » l'avifaune nicheuse d'un secteur forestier ont été réalisés dans les forêts rhénanes françaises entre 1965 et 2000. Les résultats en sont extrêmement variables, puisque les densités totales annoncées varient d'un facteur 30 ! Certaines études permettent un inventaire quantitatif relatif par Indices Kilométriques ou Ponctuels d'Abondance. Une synthèse chronologique de ces travaux est présentée ci-après (Tableau I). Les travaux de l'auteur sont présentés au chapitre 3.2.2.

- certains auteurs ont publié de simples listes d'espèces, sans qu'il soit toujours possible de distinguer parmi elles les espèces nicheuses, ou les espèces forestières (Tableau II) ;

- les études « faisant le point » sur telle ou telle espèce, sur la bande rhénane dans son ensemble ou sur un secteur, sont plus nombreuses. Mais elles ne concernent jamais les espèces forestières strictes. On ne les citera que si nécessaire au cours des discussions.

auteur de la publication	année de publication	milieu
KEMPF	1971	île du Rhin
LACOUMETTE	1976	"sites rhénans"
KEMPF	1976	avifaune d'Alsace
BUCHTEL et al.	1992	RN d'Erstein
KLEIN et al.	1992	RN d'Erstein et d'Offendorf
KOENIG	1993	delta de la Sauer
BRAUN et al.	1993	RN Rhinau

1.2.2. LES AUTRES FORETS DE LA PLAINE ALSACIENNE

Les entités forestières non rhénanes de la plaine alsacienne ont fait l'objet de presque autant d'études quantifiées que les forêts rhénanes (Tableau III). Ces forêts n'ont pourtant pas la même valeur symbolique que les forêts riveraines dans l'esprit des naturalistes régionaux.

auteur de la publication	année de publication	année de l'étude	type d'inventaire	superficie longueur	milieu	région
ARNOLD	1982	1981	quadrat	5 ha	chênaie-charmaie	Ill
SCHMITTER & STURM	1984	1980-83	quadrat	18 ha	jeune plantation Pin sylvestre	Haguenuau
MULLER	1986	1983-85	IPA	64 points	pinède, chênaie-charmaie	Haguenuau
RITTER	1996	1993 -94	quadrat	10 ha	chênaie sèche clairière	Hardt
OGER	non publié	1997	quadrat	10 ha	même quadrat que Ritter en 93-94	Hardt
LPO Alsace	non publié	1997	IPA	30 points	auln-frênaie, chên-frênaie, chên-charmaie	Ill
GUERIN & RITTER	non publié	2002	2 quadrats	10 et 11 ha	chênaie sèche et chên-charmaie	Hardt
LPO Alsace	non publié	2003	IPA	50 points	chênaie sèche clairière (futaie et taillis)	Hardt

1.3. PROBLEMATIQUE ET QUESTIONS POSEES

Les forêts rhénanes font partie des derniers lambeaux de complexes forestiers alluviaux en Europe de l'Ouest. Leur avifaune nicheuse est certes réputée être l'une des plus diversifiées et des plus abondantes de tout écosystème de nos contrées, mais on peut constater la pauvreté des études permettant de replacer ces forêts et leur avifaune dans leur contexte régional. Il manque notamment des études comparatives entre cette avifaune alluviale rhénane et l'avifaune forestière extra rhénane qui constitue son contexte régional.

L'objectif de la présente étude est de combler cette lacune, en répondant aux questions suivantes :

– **comment se caractérise l'avifaune nicheuse des forêts rhénanes ?** Quelles sont les espèces qui s'y reproduisent, quelle est la densité de leurs populations, quelles caractéristiques de l'éco complexe forestier rhéna influent le plus sur leur répartition ? Les densités exceptionnelles mentionnées dans certaines publications sont-elles validées par nos observations ?

Les recherches portent sur la partie française de ces forêts alluviales ; un complément d'information sera apporté par la bibliographie des études ornithologiques réalisées dans les forêts rhénanes allemandes.

– **comment se situe cette avifaune par rapport à celles des autres forêts de la plaine alsacienne ?** Y a-t-il en particulier rupture entre l'avifaune nicheuse des forêts du Rhin et celle des autres massifs boisés qui lui sont contigus dans la plaine alsacienne, ou existe-t-il au contraire un *continuum* avifaunistique entre ces forêts ?

Les forêts rhénanes seront tout d'abord présentées dans leur contexte géographique, en particulier par rapport aux autres massifs de la plaine alsacienne. Puis je détaillerai les travaux menés dans le cadre de la présente étude. Après avoir présenté les résultats bruts, je rechercherai les corrélations, possible relations de causalité, entre les variations du milieu et l'avifaune. Mon analyse considèrera d'abord l'avifaune dans sa globalité, puis espèce par espèce, par une approche emboîtée forêts rhénanes / forêts de la plaine d'Alsace. Les résultats seront discutés au regard de la bibliographie, tant régionale que relative aux inventaires rhénans franco-allemands.

2. LE CADRE GEOGRAPHIQUE

2.1. LA PLAINE D'ALSACE

La plaine d'Alsace constitue la partie française du **fossé d'effondrement rhénan** qui s'étend de Bâle (Suisse) au Sud à Mayence (Allemagne) au Nord. Elle fait partie de la région du Rhin supérieur (secteur de la Directive Cadre sur l'Eau comprenant le fossé d'effondrement depuis les crêtes des Vosges jusqu'à celles de la Forêt Noire) qui est l'une des régions les plus densément peuplées d'Europe, avec 334 habitants / km².

C'est une étendue plane, mais non horizontale : la partie Sud (47°30 Nord) est à 250 mètres d'altitude environ, la partie Nord (49 ° 00) à 100 mètres. Le cours rectifié du Rhin marque la frontière avec l'Allemagne. Quatre grands ensembles composent cette plaine alsacienne (Figure 1) :

- le lit majeur du fleuve, où sont situées les forêts rhénanes ;
- le cône de déjection würmien au Sud, sur lequel est installé le massif forestier de la Hardt ;
- la dépression latérale empruntée par la rivière Ill (forêts ellanes, ried) ;
- la terrasse de Haguenau au nord, constituée par les cônes de déjection des rivières issues des Vosges du Nord.

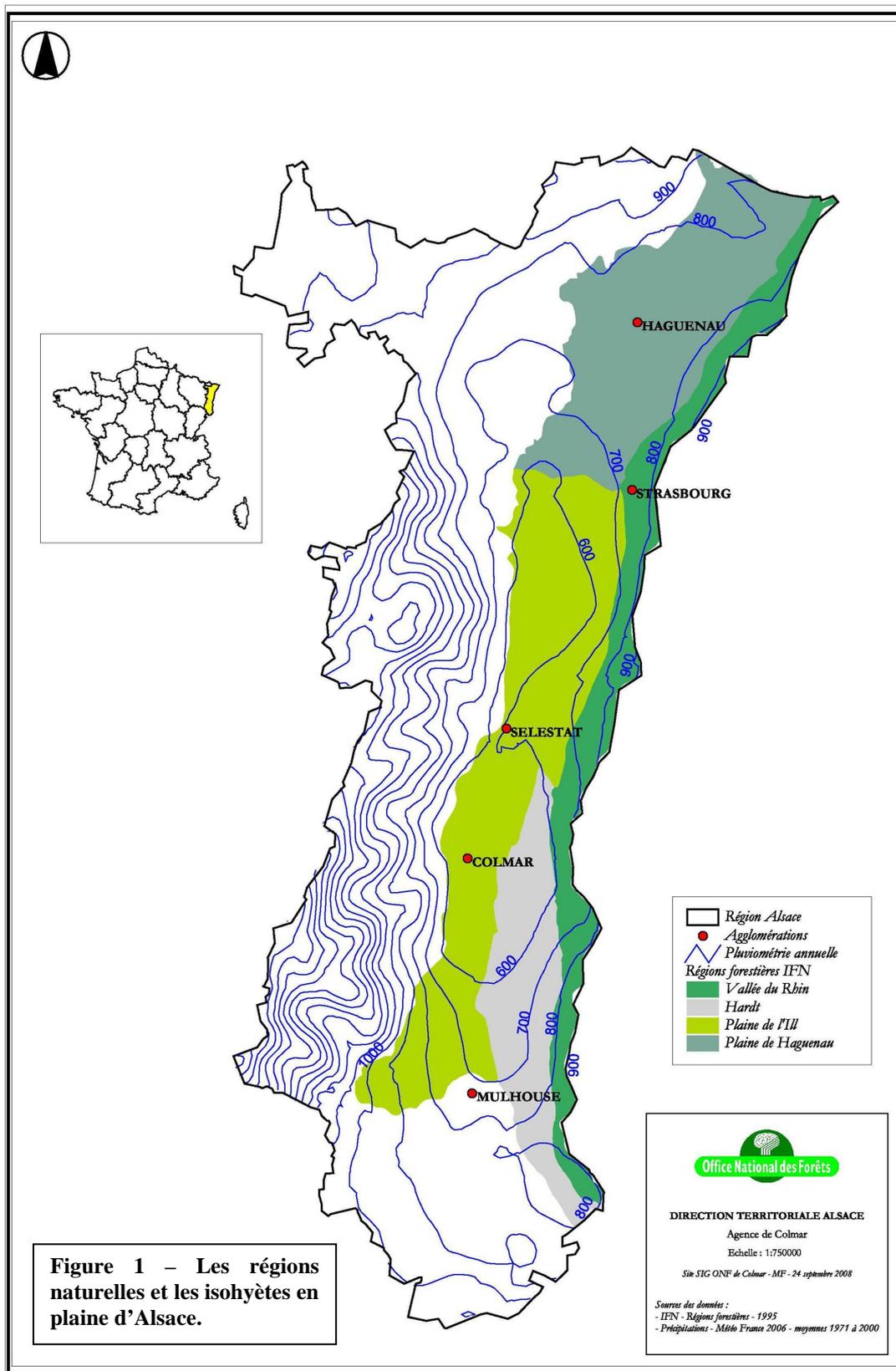
Nous laisserons de côté , dans le cadre de cette étude, la partie sud de la plaine (le Sundgau) constitué de vallonnements et plateaux d'une altitude supérieure à 250 mètres.

La plaine d'Alsace - Bade est assise sur la plus grande nappe aquifère d'Europe.

Le taux de boisement de la plaine est assez faible (23 %, source Inventaire Forestier National) ; la majorité de la surface est occupée par des terres agricoles (56 %), des villes, de gros villages et de l'eau (21 %), et de rares surfaces de landes (1 %).

La plaine d'Alsace présente la **particularité climatique** d'être en situation d'abri entre Vosges et Forêt noire : les nuages portés par les vents dominants de secteur Sud-Ouest sont bloqués par la barrière vosgienne Nord-Sud. Le Nord de la Hardt est ainsi l'une des régions les plus sèches de France avec 550 mm de précipitations / an, le ballon d'Alsace à 40 km à vol d'oiseau étant l'une des plus arrosées (2300 mm / an). La partie Nord de la plaine, mal abritée par les basses Vosges du Nord, reçoit une pluviométrie plus conforme à la moyenne du Nord-Est du pays (800 à 1000 mm / an), de même que l'extrême Sud en face de la trouée de Belfort. Globalement, le climat est marqué par des influences continentales plus ou moins marquées : les hivers sont longs et froids, avec des brouillards fréquents mais assez peu de précipitations, les étés sont chauds et les orages parfois violents et nombreux. La température annuelle moyenne est de 10 °c en tous points de la plaine.

Les biogéographes rattachent la plaine d'Alsace au **domaine médio-européen** (parfois nommé continental). La partie Sud (dont la Hardt) est encore marquée par des influences méridionales et rattachée au secteur alpin (ensemble delphino-jurassien) ; la plaine rhénane, la dépression ellane et le massif de Haguenau font partie du secteur baltico-rhénan.



2.2. LE RHIN ET LES FORETS RHENANES

2.2.1. LE RHIN

Le Rhin est un fleuve Ouest européen qui prend sa source dans les Alpes suisses pour rejoindre la Mer du Nord aux Pays-Bas. Son cours peut être divisé en 6 secteurs consécutifs (Figure 2) :

– **le Rhin alpin** : après la réunion du Rhin antérieur et du Rhin postérieur, le torrent dévale vers le Nord, longe le Liechtenstein et arrose sa capitale Vaduz, tourne vers l'Ouest, traverse le Lac de Constance, immense réservoir naturel qui tamponnera en partie les crues, puis franchit le Jura par les *chutes du Rhin* à Schaffhouse (frontière germano-suisse) ;

– **le Haut Rhin** : il reçoit ensuite son premier gros affluent alpin (l'Aar) dont les crues, lorsqu'elles sont synchrones à celles du Rhin lui-même, créeront les plus grosses inondations en plaine d'Alsace-Bade ;

– **le Rhin supérieur** : traversant Bâle, le fleuve entre dans le fossé d'effondrement alsatico-badois avec un débit moyen de 1050 m³/s. Faisant office de frontière entre la France et l'Allemagne, entre les massifs anciens des Vosges et de la Forêt noire, il enchâsse son cours au sein du cône de déjection würmien couvert par la Hardt et l'Oedenwald. Il longe la ville de Strasbourg à l'aval de laquelle il reçoit l'Ill, principale rivière alsacienne, puis quitte l'Alsace pour traverser Mannheim / Ludwigshafen où il est rejoint par le Neckar, puis Mayence où il conflue avec le Main ;

– **le Rhin moyen** : il s'engouffre alors dans le Massif schisteux rhénan par la « trouée héroïque » au pied de la *Lorelei* ;

– **le Rhin inférieur** : la dernière partie de son cours est strictement planitiaire, à travers le plat pays d'Europe du Nord-Ouest. Le fleuve traverse la région industrielle de la Ruhr en Allemagne (où il arrose l'ancienne capitale Bonn), puis reçoit la Moselle à Coblenze. Après la réunion avec tous ces affluents à régime océanique, son débit est abondant toute l'année (moyenne de 1 625 m³ / s) ;

– **le delta du Rhin** : viennent les Pays-Bas où il gagne la mer du Nord par un vaste delta à trois bras principaux qu'il partage avec la Meuse aux alentours de Rotterdam / Amsterdam / La Haye ; son débit est alors de 2 200 m³ / s.

D'importants **travaux de canalisation et de régularisation** du cours du fleuve ont été entrepris à partir du milieu du XIX^{ème} siècle. Le Traité de Versailles de 1919 a autorisé la construction du Grand Canal d'Alsace dans la partie Sud de son cours alsacien, créant une longue île entre canal et « vieux Rhin » (construction du barrage de Kembs en 1932, des biefs d'Ottmarsheim en 1952, Fessenheim en 1956 et Vogelgrün en 1959). Puis seront mises en place des usines hydroélectriques en dérivation du fleuve dans la partie centrale, coupant les nombreux bras de leur jonction avec le fleuve et créant des îles de moyenne importance (barrage de Marckolsheim en 1961, de Rhinau en 1963, de Gerstheim en 1967 et de Strasbourg en 1970). Enfin, des barrages « au fil de l'eau » ont été créés au nord de

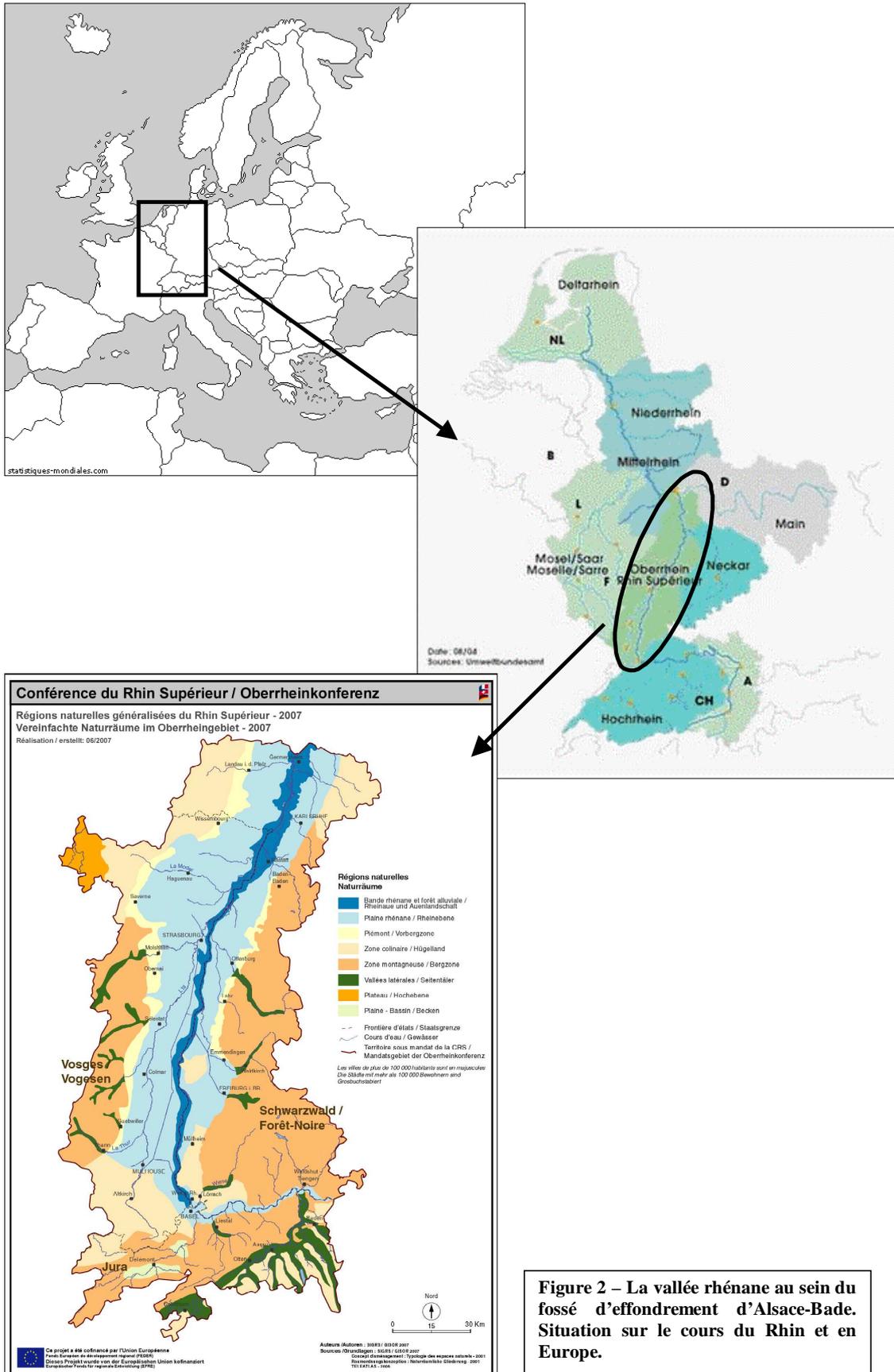


Figure 2 – La vallée rhénane au sein du fossé d’effondrement d’Alsace-Bade. Situation sur le cours du Rhin et en Europe.

la capitale alsacienne, barrant la route au Saumon atlantique *Salmo salar* mais préservant en partie les dérivations naturelles (barrage de Gambenheim en 1974 et enfin Iffezheim en 1977). Tous ces travaux ont façonné des histoires et des devenirs variés aux paysages rhénans.

Nous nous intéresserons dans la présente étude au **cours collinéen du Rhin** (le Rhin supérieur, qui s'étend sur 300 km environ) **entre Bâle** (250 mètres d'altitude) **et Mayence** (85 mètres d'altitude), sous climat semi-continental. A ce niveau, le Rhin est un fleuve dont l'origine alpine se fait encore largement ressentir, par son régime hydrologique nivo-glaciaire : il présente des hautes eaux de printemps, lors de la fonte des neiges dans les Alpes (on parle du « *Kirschrhein* », le Rhin des cerises). Ces caractéristiques ont contribué à modeler le paysage du fleuve dans le fossé d'effondrement d'Alsace-Bade (CARBIENER, 1970), partie médiane qui peut elle-même être divisée en trois portions successives :

– **le secteur des tresses** (60 km) : la première partie à l'aval de Bâle correspond à la traversée du cône de déjection würmien (lit encaissé dans ses alluvions, faible présence de forêts alluviales) ;

– **le secteur des tresses et anastomoses** (100 km) : le fleuve entre dans la zone la plus propice au développement d'une forêt riveraine parmi les plus diversifiées d'Europe, entre Brisach (Neuf-Brisach côté français) et Rastatt : bras secondaires très changeants, régénérant la forêt de manière originale du temps de la fonctionnalité du système aujourd'hui disparue, inondations parfois longues contraignant certaines espèces à ne pas participer aux cycles sylvigénétiques ;

– **le secteur des méandres** (140 km, dont 15 km de frontière franco-allemande) : apaisement du régime et création de larges méandres consécutivement à l'abaissement de la pente, suite à l'éloignement des Alpes et à l'intégration de rivières à régime océanique.

2.2.2. LA VALLEE DU RHIN FRANÇAISE

La vallée du Rhin *sensu stricto* correspond au lit majeur du fleuve. D'une longueur de 175 km en France et d'une largeur de 1 à 5 km, elle s'étire en longueur Nord - Sud entre 7°30' et 8°10' de longitude Est et de 47°30' à 49° de latitude Nord, sur les départements du Haut Rhin et du Bas Rhin. D'une superficie de 610 km², elle est limitée à l'Est par le Rhin, et borde à l'Ouest successivement les régions naturelles de la Hardt, de la plaine de l'Ill et de Haguenau ; elle présente un taux de boisement de 17 %.

Son altitude maximale est de 250 mètres au Sud, son altitude minimale est de 105 mètres au Nord de la région. Le substratum est constitué à plus de 95 % d'alluvions calcaires meubles, parfois très caillouteuses (galets).

Le climat présente par endroits un caractère continental marqué, surtout dans la partie médiane de la zone étudiée. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 790 mm (minimum 620 mm, maximum 940 mm).

2.2.3. LES FORETS RHENANES

« La » forêt rhénane primitive n'existe plus : on doit plutôt parler « des » forêts rhénanes, succession de massifs forestiers de quelques centaines d'hectares chacun. **On retiendra** à ce titre **tout boisement compris dans l'ancien lit majeur du fleuve** : la

Tableau IV. Surfaces forestières rhénanes au sein du fossé d'effondrement

	France	Allemagne
partie aval	750 ha	4 250 ha
partie médiane	8 500 ha	8 500 ha
partie amont	2 000 ha	3 000 ha

superficie totale de forêts rhénanes dans la partie alsacienne du fossé d'effondrement est d'environ 11000 ha (auxquels se rajoutent 16000 ha en plaine de Bade, en Allemagne – Tableau IV)

En France, ces forêts sont toutes classées en « forêts de protection », et sont **protégées** par cinq réserves naturelles gérées par le Conservatoire des Sites alsaciens (île de Rhinau, Erstein, île du Rohrschollen, Offendorf, delta de la Sauer) et quatre réserves biologiques gérées par l'Office National des Forêts (Daubensand, La Wantzenau, Offendorf et Lauterbourg).

L'écosystème forestier est ici considéré dans sa globalité ; il intègre donc outre les parties boisées proprement dites, les bras d'eau (en eau ou à sec), les roselières, les ouvertures intra forestières etc. ... On distingue classiquement les grands types forestiers suivants au sein des éco-complexes alluviaux :

- les forêts à bois tendres : saulaie blanche dans les parties humides, peupleraie noire sur les levées sèches ;
- les forêts à bois durs : typiquement en Alsace, la chênaie pédonculée-charmaie (-ormaise autrefois) et la tillaie sèche à Laîche blanche *Carex alba* ;
- se rajoutent des saulaies arbustives dans les parties les plus souvent inondées ;
- et des milieux indissociables des précédents, en lien dynamique (car à l'origine des successions forestières) avec les parties forestières *stricto sensu* : phragmitaies, caricaies, mégaphorbiaies (dont les « mers » de *Solidago Solidago sp.*), grèves exondées, bras d'eau.

Les forêts alluviales sont des **formations intra-zonales**, à la sylvigénèse bloquée par l'omniprésence de l'eau, insérées dans une matrice de formations en équilibre avec le climat. Mais leur dynamique naturelle est cependant largement en cours d'effacement suite à la perte du caractère inondable des massifs rhénans consécutive aux travaux d'endiguement.

L'Inventaire Forestier National indique que les essences dominantes des forêts rhénanes sont (en % du volume de bois) le Frêne commun *Fraxinus excelsior* 20 %, le Chêne pédonculé *Quercus robur* 17 %, les peupliers *Populus sp.* 17 %, et le Hêtre commun *Fagus sylvatica* 13 % (avant l'ouragan Lothar) ; mais les « feuillus divers » représentent 19 % du total, laissant deviner la grande richesse en espèces ligneuses de ces forêts (au total, plus de quarante espèces d'arbres, arbustes et lianes).

Les parties en eau et milieux associés (roselières) représentent environ 6 % des surfaces totales ; à plus de 90 %, les forêts rhénanes ne sont pas (ne sont plus) des ripisylves, formations boisées de bord de cours d'eau. La déconnexion de ces forêts du

fleuve créateur et régénérant est sur le point d'être totale. Beaucoup sont cependant toujours inondables, au moins par remontée de la nappe phréatique.

2.3. LE MASSIF DE LA HARDT ; LES FORETS DE LA HARDT NORD

La région naturelle de la Hardt couvre 505 km² dans la partie Sud de la plaine alsacienne, dont 191 km² (soit 38 %) sont boisés. Installée sur les graviers du cône de déjection rhénan würmien, elle présente des sols filtrants, bruns carbonatés à bruns acides. Elle est limitée à l'Est par la vallée rhénane, au Sud-Ouest par les plateaux calcaires du Sundgau et au Nord-Ouest par la partie Sud de la plaine de l'III. Le massif domanial de la Hardt couvre à lui seul près de 140 km² d'un seul tenant.

A une altitude moyenne de 220 mètres (mini 180 m, maxi 260 m), la Hardt présente un fort gradient Nord-Sud de précipitations moyennes annuelles, de 830 mm / an dans la partie Sud arrosée par les perturbations atlantiques s'engouffrant dans la trouée de Belfort, à 550 mm / an dans sa partie Nord à l'abri des vents dominants bloqués par les Hautes Vosges (moyenne 700 mm). Les massifs forestiers (souvent communaux) de la Hardt Nord subissent ainsi à la fois la sécheresse climatique et l'aridité du sol filtrant, combinées à de fortes chaleurs estivales limitant très fortement la croissance de la forêt : les chênaies y sont très basses (10 mètres de hauteur) et très ouvertes, présentant de nombreuses clairières (localement nommées « *Heischiens* ») à flore xéro thermophile et à affinités pontiques, préfigurant les steppes d'Europe centrale. Les caractéristiques très particulières de cette petite région permettent à une avifaune forestière originale de se développer (DENIS, 2004).

Ces forêts sont en majeure partie des chênaies (41 %) – charmaies (34 %), parfois accompagnées de Pin sylvestre *Pinus sylvestris* (11 %) ou de Tilleul *Tilia sp.* (8%).

2.4. LES FORETS ELLANES

La région naturelle de la plaine de l'III correspond à la dépression parallèle au lit majeur du Rhin, qui le longe à l'Ouest sur les ¾ de la plaine alsacienne. Elle est empruntée par la rivière Ill, principale rivière régionale, qui capte toutes les rivières du versant oriental du massif vosgien à l'exception de celles provenant des Vosges du Nord. La plaine de l'III couvre 1300 km², boisés à 15 % soit 199 km² ; elle est bordée à l'Est par la vallée du Rhin, au sud par le Sundgau, à l'Ouest par les collines sous-vosgiennes, et au Nord-Est par le massif de Haguenau. Les sols sont très souvent hydromorphes, parfois tourbeux. Hors forêt, c'était le domaine des rieds, espaces agricoles formés de prairies humides inondables, de rideaux d'arbres et de petits bois, paradis du Courlis cendré *Numenius arquata* ou de la Cigogne blanche *Ciconia ciconia*. Le maïs y a malheureusement pris une importance démesurée.

La plaine de l'III s'abaisse graduellement vers le Nord (mini 140 m, maxi 330 m, moyenne 200 m). A l'abri des Vosges, les précipitations sont faibles (650 mm en moyenne) sauf à l'extrême Sud en face de la trouée de Belfort où elles peuvent atteindre localement 1000 mm.

Les forêts sont souvent de très hautes futaies de structure assez uniforme, couvertes de chênes (31 %), de Frêne (30 %), de Charme *Carpinus betulus* (12 %) et d'Aulne glutineux *Alnus glutinosa* (7 %).

2.5. LE MASSIF DE HAGUENAU ET LES FORETS PERIPHERIQUES

L'immense massif de Haguenau couvre 210 km² d'un seul tenant. C'est l'un des plus grands massifs boisés de plaine en France. Les petits massifs satellites portent à 274 km² la superficie forestière de cette région naturelle, dont le taux de boisement est de 27 %. Les cônes de déjection alluvionnaires des petites rivières descendant des basses Vosges gréseuses constituent l'assise souvent acide et sableuse de cette région. A une altitude moyenne de 140 mètres (mini 120 m, maxi 200 m), les précipitations annuelles moyennes de 780 mm (mini 680 mm, maxi 830 mm) y sont plus abondantes que dans le reste de la plaine alsacienne, la région subissant les dépressions atlantiques car peu protégée par la barrière vosgienne très abaissée : la tempête Lothar de décembre 1999 y a d'ailleurs laissé de marquants souvenirs ! Les températures dénotent cependant la continentalité alsacienne.

Bordée par la vallée rhénane à l'Est, la plaine de Haguenau est limitée au Sud par la vallée de l'Ill et à l'Ouest par les Basses Vosges gréseuses. Elle se poursuit en territoire allemand au Nord en rive gauche de la rivière Lauter.

Les forêts du massif de Haguenau présentent un caractère sub-montagnard surprenant à cette altitude : mélange de résineux (36 % de Pin sylvestre) et de Hêtre (16 %), accompagnés de chênes (24 %), tapis de myrtilles *Vaccinium myrtillus*, Sureau à grappe *Sambucus racemosa* ... Deux espèces d'oiseaux des forêts froides ou de montagne sont ou étaient présentes. Le Grand Tétras *Tetrao urogallus* y était bien représenté au début du XX^{ème} siècle ; il en a disparu dans les années cinquantes. La Chouette de Tengmalm *Aegolius funereus* s'y est reproduite. Ces forêts préfigurent les chênaies-pinèdes de la grande plaine Nord européenne.

3. L'AVIFAUNE ET LE MILIEU FORESTIER EN PLAINE D'ALSACE : METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE STATISTIQUE

3.1. PLAN D'ECHANTILLONNAGE

L'objectif étant d'une part de mesurer des densités d'oiseaux forestiers nicheurs avec une méthode standardisée (et un même observateur), et d'autre part d'analyser les relations avifaune / structure de la forêt, le plan d'échantillonnage a été conçu selon les principes suivants :

- réalisation de quadrats (parcelles où sont effectués des dénombrements absolus ; voir plus loin) en forêts alluviales permettant de prendre en compte la grande variabilité de ces forêts. J'ai sélectionné les biotopes à priori les plus riches, mais également des étendues de forêts « basiques » bien qu'alluviales, bien moins diversifiées. Le fait que j'ai par ailleurs réalisé des quadrats dans des milieux complètement différents et moins diversifiés (montagne, pessières) m'offre une base de comparaison pour les densités mesurées en forêts riches de plaine ;

- recensements du même type que ci-dessus mais sur de plus grandes superficies (150 à plus de 1500 ha) de certaines espèces à plus grands territoires ou distribuées de façon « aléatoire », en forêts rhénanes mais aussi dans les grands massifs de plaine (Hardt et Haguenau). Ceci m'a permis de mesurer la densité d'espèces à grands domaines vitaux (Picidés, certains Turdidés, Coucou gris etc. ...) ;

- réalisation de nombreux sondages de type IPA (Indices Ponctuels d'Abondance ; voir plus loin) répartis au mieux dans l'ensemble des forêts de plaine, avec un maillage deux fois plus élevé en forêts rhénanes réputées être très diversifiées (80 IPA en moyenne par région naturelle, 160 dans les forêts rhénanes). Ces sondages ponctuels se prêtent bien à l'analyse des relations avifaune / structure forestière ;

- en outre, réalisation de quatre « parcours IKA » (Indices Kilométriques d'Abondance ; voir plus loin) en forêt rhénane. Leur but – outre celui de tester cette méthode en forêt rhénane – était de comparer leurs résultats à ceux des IPA. La méthode des IKA a précédé historiquement celle des IPA et a été utilisée surtout jusqu'au début des années quatre-vingt-dix.

Ma position de coordonnateur des études faunistiques à l'ONF Alsace m'a permis de faire réaliser en forêts rhénanes – dans le cadre de dossiers portés par cet organisme (InterReg, Life) – à la fois des quadrats complémentaires (par des collègues ONF) et de nombreux IPA (par des membres de la LPO Alsace ou du centre de recherche forestière de Freiburg), ainsi que quelques parcours IKA. Les études (semi) quantitatives de l'avifaune dans les forêts rhénanes se sont ainsi démultipliées depuis une dizaine d'années. Un nombre important d'études personnelles a été réalisé dans le cadre de mon travail au Service d'Appui Technique de l'ONF Alsace.

3.2. METHODOLOGIE DES RELEVES D'AVIFAUNE

3.2.1. LES RELEVES DE TERRAIN

J'ai utilisé pour ce travail différentes méthodes pour étudier l'avifaune forestière nicheuse en plaine d'Alsace. Toutes sont connues et éprouvées, leurs principes, intérêts et limites sont rappelés ci-après. Afin de situer l'avifaune forestière rhénane dans son contexte régional, j'ai effectué des inventaires d'avifaune avec les mêmes méthodes dans les autres massifs forestiers de la plaine d'Alsace. La réalisation de ces inventaires par le même auteur, au cours de la même décennie, autorise les comparaisons.

La cartographie des territoires

Cette méthode (encore appelée « méthode des **quadrats** » ou « des plans quadrillés ») est la plus précise pour mesurer des densités d'oiseaux nicheurs, mais également la plus coûteuse en temps. Le but est de cartographier aussi précisément que possible les territoires individuels de tous les couples nicheurs de la zone d'étude, afin de pouvoir les comptabiliser. La méthode consiste à passer de nombreuses fois en période de reproduction sur toute la surface de la parcelle choisie, en notant tout contact avec tout oiseau. L'écoute de chants simultanés de deux mâles chanteurs d'une même espèce (souvent en conflit territorial en limites de leurs territoires respectifs) permet de définir au mieux les frontières territoriales. La méthode peut s'avérer difficile en cas de fortes densités (repérage des différentes espèces dans le concert printanier, séparation des couples, attribution d'un seul territoire à un seul couple). Cette méthode permet une connaissance fine de l'avifaune sur des superficies limitée (10 à 15 ha), mais ne permet que de précautionneuses extrapolations à des milieux différents.

La méthode que j'ai adoptée suit globalement les recommandations de l'*International Bird Census Committee* (1969) (cf. aussi FERRY, 1969). Je passe une fois par semaine sur chaque quadrat de fin mars / début avril à mi juin en plaine d'Alsace pour recenser les chanteurs. Une dizaine de visites sont effectuées durant les 3 à 4 premières heures du jour. Quelques sorties supplémentaires sont réalisées à la recherche spécifique d'espèces particulières tels que les pics ou l'Etourneau sansonnet *Sturnus vulgaris*, faciles à repérer quand les jeunes se manifestent au nid. Les parcours sur le quadrat sont réalisés à chaque fois en suivant un parcours différent, commençant à chaque fois par un endroit différent.

Le report final des contacts obtenus au cours de toutes les visites sur des cartes spécifiques (une carte par espèce) permet d'obtenir des nuages de points-observations qui permettent de délimiter les territoires. Sauf exception (nid trouvé, espèces à grands territoire, cf. plus loin), un couple n'est comptabilisé que si au moins 4 contacts différents avec l'espèce concernée sont enregistrés sur les 10 sorties (ou 3 sur 8, ou 2 sur 6, pour les espèces migratrices qui ne sont pas présentes au début des inventaires et ne peuvent donc pas être contactées 10 fois). Par ailleurs, deux territoires adjacents ne sont comptabilisés comme couples distincts que si au moins un contact simultané existe (c'est-à-dire deux oiseaux territoriaux qui se répondent). La pratique nous apprend en effet qu'il est très difficile de localiser précisément un oiseau en forêt, et deux nuages de points peuvent résulter de positionnements hasardeux sur le plan. Le nombre de visites est suffisamment élevé pour éviter d'avoir à trancher en l'absence de contacts simultanés de deux couples adjacents, du moins pour les espèces abondantes. Enfin, les couples « débordant » les limites de la zones d'étude sont aussi précisément comptabilisés que possible : les

parcours en limite de quadrat permettent facilement de cartographier les couples sur une bande supplémentaire d'au moins 50 mètres (soit plus de 15 ha recensés au total pour une zone d'étude de 10 ha). Ces couples sont alors comptés « au dixième » (0,2 – 0,3 – 0,5 – 0,8 etc. ...) dérogeant ainsi, mais avec l'avantage d'une précision accrue, aux recommandations de *l'International Bird Census Committee*. Dans le cas où les espèces à grands territoires sont recensées séparément, incluant le petit quadrat, les densités de ces espèces sont exploitées pour le quadrat.

Cette méthode ne permet d'évaluer que la densité des espèces dont les territoires sont inférieurs à la superficie étudiée, à savoir tous les petits passereaux et, selon leurs densités, des espèces de la taille des grives ou du Pic épeiche *Dendrocopos major*. Mais cette méthode peut être extrapolée à une grande surface (plusieurs dizaines ou centaines d'hectares) pour estimer la densité d'espèces à grands territoires (Picidés, Turdidés, Colombidés, rapaces ...) ou disséminées car liées à un milieu particulier (rousserolles, Bruant jaune *Emberiza citrinella*, Locustelle tachetée *Locustella naevia* ...). Le principe est le même, le maillage d'inventaire étant simplement plus lâche ; le recensement est alors restreint aux espèces les moins abondantes. La détermination des couples des espèces à grands territoires sur plan fait également appel aux contacts simultanés autant que possible. Cependant, eu égard à la grande distance séparant parfois des couples d'espèces à petits territoires, donc avec impossibilité physique de doubles contacts, je retiens comme 2 couples distincts 2 nuages de points dont les plus proches contacts sont séparés par une distance au moins égale à la plus grande extension d'un des nuages.

Un cas particulier est celui des espèces patrimoniales (Râle d'eau *Rallus aquaticus*, Faucon hobereau *Falco subbuteo* ...). Le principe est alors d'accumuler les preuves de présence sans pour autant être capable de dessiner les contours de leurs territoires, ce qui n'empêche pas d'estimer des densités, toujours très faibles pour ces espèces.

Les Indices Ponctuels d'Abondance (ou IPA)

La méthode consiste à échantillonner l'avifaune par tous types de contacts (auditifs en majorité, mais aussi visuels) en un point défini à priori, au cours de deux brèves visites chronométrées. On compte les oiseaux contactés, mais les effectifs ainsi mesurés n'ont pas directement valeur de densités en raison d'un manque de contrôle du rayon de détection et de la détectabilité inégale des espèces. Il s'agit donc d'une sorte de sondage qui ne donne que des abondances relatives. Ces points sont répartis au sein de la zone d'étude, toujours à priori « sur carte » au bureau pour éviter des biais de terrain (par exemple l'attraction éventuelle vers des secteurs plus riches), et de façon systématique. Pour répartir ces points, j'ai adopté le principe d'une grille carrée à maille variable, dépendant de la variabilité avifaunistique de la zone, mais aussi du temps imparti. Une autre méthode de disposition à priori des points que j'utilise parfois consiste à disposer ces points par rapport à des repères facilement identifiables (par exemple « 100 mètres vers l'intérieur de la parcelle, à partir du coin Nord-Est »). Les IPA complémentaires réalisés en 2007 ont été placés à partir d'une grille couvrant la totalité de la plaine alsacienne. Par convention, l'unité de comptage est le couple, non l'individu. Pour ce faire, la note 1 est attribuée à un mâle chanteur, un couple ou une famille observé, et la note 0,5 à un cri entendu ou un oiseau observé seul. J'ai adopté une durée de relevés de 15 minutes, des relevés préliminaires (n = 120) m'ayant permis de montrer que 97 % des couples et 92 % des espèces recensés en 20 minutes étaient notés durant cette période

(respectivement 66/63 en 5 min, 83/79 en 10 min) ; le rapport perte d'information / gain de temps (donc possibilité de multiplier les points d'inventaire pendant la durée très limitée des inventaires matinaux) a été jugé intéressant. Les deux passages sur chaque point caractéristiques de cette méthode sont effectués, le premier entre le 1^{er} avril (voire le 25 mars en cas de printemps précoce) et le 5-10 mai pour noter les espèces sédentaires ou migratrices « locales », le second entre le 10 mai et le 10 (voire le 15) juin pour contacter les migrateurs au long cours s'installant plus tard. La note maximale obtenue au cours de l'un des deux passages est ensuite retenue pour chaque espèce. Cette méthode ne donne que des densités relatives, mais autorise des études sur de grandes superficies dans des situations variées, ce qui permet de prendre en compte la variabilité spatiale des milieux. Il faut seulement réaliser un nombre suffisant de relevés pour pouvoir leur y appliquer valablement des méthodes statistiques standard (FERRY, 1976).

J'ai réalisé par ailleurs une série d'une centaine d' « IPA courts » de 5 minutes, afin de quantifier l'avifaune le long de bras d'eau en secteur rhénan. Cette courte durée a été préférée afin de pouvoir couvrir l'ensemble de la zone étudiée durant le laps de temps imparti. Ces données n'ont pas été mélangées à celles issues des IPA de 15 minutes dans les analyses. Elles permettent cependant de dresser une liste fréquentielle des espèces rencontrées le long de 20 km de bras d'eau.

Les Indices Kilométriques d'Abondance (ou IKA)

Ils peuvent être compris comme les équivalents des IPA mais réalisés non plus sous forme ponctuels (l'observateur est immobile) mais linéaires (l'observateur suit un cheminement). J'ai testé cette méthode en forêt rhénane, mais les résultats se sont avérés difficiles à exploiter. Des coefficients de conversion, différents bien entendus de ceux mis en place pour les IPA, seraient évidemment indispensables pour obtenir des densités absolues. Ils n'ont pas été utilisés ici, bien que l'expérience tende à montrer qu'il convient de diviser par deux l'IKA total pour obtenir un ordre de grandeur de la densité totale.

3.2.2. LES RELEVES EFFECTUES SUR LE TERRAIN

Le détail des inventaires est présenté ci-après : tous ont fait l'objet de publications ou de rapports d'étude. Le Tableau V présente chronologiquement les études réalisées par l'auteur dans les forêts du fossé rhénan alsacien, la Figure 3 permet de les localiser.

La cartographie des territoires (quadrats)

Trois quadrats d'une dizaine d'hectares visant à quantifier les petits passereaux nicheurs ont été réalisés dans les forêts rhénanes :

– un quadrat de **14 ha** (2002) en forêt communale de La Wantzenau (67), composé d'une mosaïque d'habitats rhénans : saulaies, chênaies, peupleraies, roselières, caricaies, bras d'eau, trouée herbeuse (DENIS, 2003) ;

– un quadrat de **12 ha 80** (2004) en forêt domaniale de Marckolsheim (67), sur l'île du même nom, composé de deux parties de physionomies différentes : une saulaie-

peupleraie- chénaie très ouverte traversée par un bras partiellement en eau (5 ha 80), et une partie fortement remaniée (7 ha 00) lors des travaux de creusement du Grand Canal d'Alsace, constituée d'une partie xérique (chénaie sèche très ouverte), d'une peupleraie blanche, d'un taillis de noisetier et d'une lande à Solidage (ancien champs de maïs) ;

– un quadrat de **12 ha** (2005) également en forêt domaniale de Marckolsheim, de part et d'autre du *Bogenrhein*, ancien bras du Rhin partiellement en eau et dominé par les peupliers noirs et grisards (pour ces 2 quadrats : DENIS, 2005).

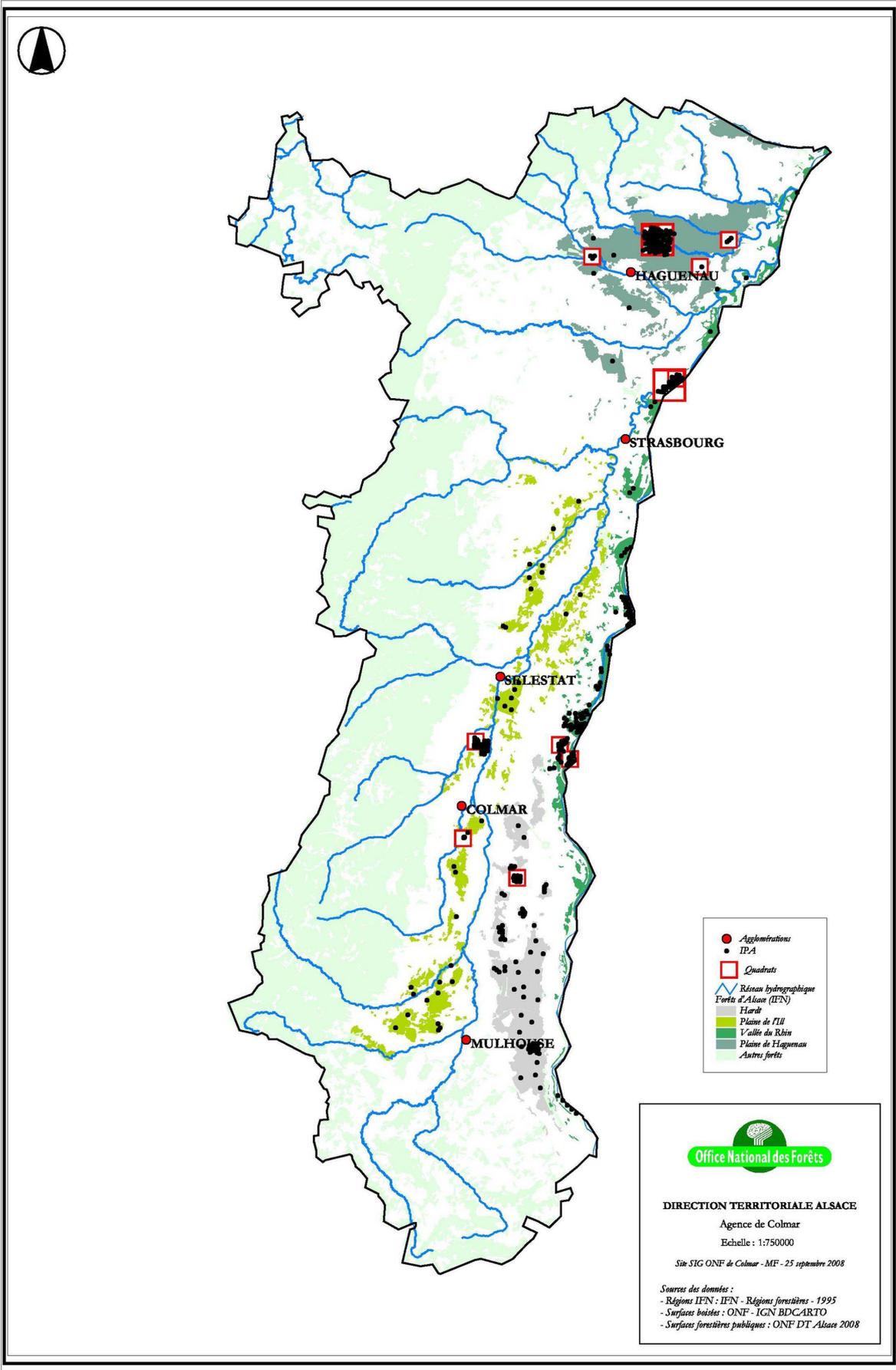
Le massif forestier de La Wantzenau (**520 ha** dominés par le Frêne, le Chêne, l'Erable sycomore et les Peupliers de Culture) a également fait l'objet (2003) sur l'intégralité de sa superficie de la cartographie des territoires de 32 espèces à grands territoires ou disséminées (DENIS, 2003).

année	région naturelle	passereaux	densités absolues (=quadrats)		densités relatives	
			esp à grands territoires	esp patrimoniales	IPA (nombre)	IKA
1998	ill	10 ha				
1999	ill	10 ha			12	
2000	rhin			350 ha (10 esp)	97 (5 min)	2 km
	ill				20	
2001	rhin			680 ha (5 esp)		
	ill	12 ha 25			12	
2002	rhin	14 ha			12 + 14	
2003	rhin		520 ha (32 esp)		56 + 14	
	hardt		160 ha (19 esp)		12	
2004	rhin	12 ha 80			27 + 11	
	hardt				29 + 3	
2005	rhin	12 ha			10	
	hardt				3	
	haguenau		1740 ha (11 esp)		64	
2006	rhin				9	
	hardt				3	
	haguenau		209 ha (15 esp)		15	
2007	rhin				10	
	hardt				29 + 3	
	ill				34	
	haguenau				5	

Deux recherches spécifiques d'espèces patrimoniales ont été effectuées sur les rapaces et les oiseaux d'eau :

– sur les massifs alluviaux du Nord du Haut-Rhin (2000) : 10 espèces recensées sur 350 ha (DENIS, 2000) ;

– sur le massif de Mackenheim-Shoenau (2001) : 5 espèces quantifiées sur 680 ha (DENIS, 2001).



Un quadrat de **160 ha** a été réalisé (2003) dans les chênaies sèches, très basses et très ouvertes, de la **Hardt nord** en forêt communale de Dessenheim (68) pour 19 espèces, dont certaines atteignent des densités exceptionnellement fortes (Rossignol philomèle *Luscinia megarhynchos* et Pouillot fitis *Phylloscopus trochilus* par exemple) ou faibles (absence du Troglodyte mignon *Troglodytes troglodytes* – DENIS, 2004).

Les forêts de la **Plaine de l'III** ont été parcourues par deux quadrats pour quantifier les petits passereaux nicheurs qui atteignent de fortes densités dans ces forêts alluviales comportant souvent de très hauts et très gros arbres :

– un quadrat de **10 ha** dans une frênaie-chênaie en forêt communale de Sainte Croix en Plaine (68) réalisé deux années consécutives (1998 et 1999) ; une recherche particulière des espèces cavernicoles y a été conduite (DENIS, 2001) ;

– un quadrat de **12 ha 25** dans une frênaie-aulnaie-éablaie en forêt communale de Colmar (68, en 2001), canton forestier du Niederwald (DENIS, 2003).

Sur l'immense massif de Haguenau, une recherche des territoires de 11 espèces sur un quadrat de **1 740 ha** de hêtraie-chênaie-pinède a été menée en 2005, puis de 15 espèces sur les **209 ha** de la réserve biologique en 2006 (DENIS, 2007).

Les Indices Ponctuels d'Abondance

Les **forêts rhénanes** alsaciennes ont été inventoriées par **162 IPA** de 15 minutes répartis comme suit :

– 83 IPA dans les 2050 ha de forêts situées entre Marckolsheim au Sud et Rhinau au Nord (56 en 2003 dans les forêts gérées, 27 en 2004 dans les forêts en réserve intégrales – DENIS *et al.*, 2006) ;

– 28 IPA (2002-2003) dans le massif de La Wantzenau (520 ha – DENIS, 2003) ;

– 19 IPA disséminés du Sud (île du Rhin à Kembs – 67) au Nord (embouchure de la Moder – 68), en passant par les massifs d'Erstein, Neuhof et La Robertsau en particulier (2006-2007) ;

– enfin, sur les petits quadrats précédemment décrits, a été réalisée une série d'IPA afin de calculer des coefficients de conversion entre densités absolues et IPA moyens : 12 IPA à La Wantzenau en 2002, 11 sur l'île de Marckolsheim en 2004 et 10 à Marckolsheim / Bogenrhein en 2005.

97 IPA d'une durée de 5 minutes ont également été répartis le long de 20,2 kilomètres de bras d'eau du massif forestier de Mackenheim-Schoenau (67) en 2000 (DENIS, 2001).

Le **massif de la Hardt** a fait l'objet de **75 IPA** :

– 12 IPA (en 2003) à Dessenheim sur 160 ha de forêts steppiques ;

– 29 IPA (en 2004) sur 1000 ha de forêts de la partie Nord (pour ces 2 études : DENIS, 2004) ;

– 12 IPA (de 2004 à 2007) sur un carré STOC suivi depuis 2004 en forêt domaniale de la Hardt Sud ;

– 22 IPA (en 2007) également répartis sur le massif domanial essentiellement.

Sur les forêts de la **Plaine de l'III** ont été réalisés **78 IPA** :

- 20 IPA en 2003 sur le massif alluvial de Colmar-Niederwald (DENIS, 2003) ;
- 34 IPA en 2007 répartis sur l'ensemble des forêts ellanes, du secteur Ouest de Mulhouse au Sud au ried de la Bruche au Nord ;
- sur les petits quadrats de Sainte Croix en plaine : 12 IPA en 1999 et sur celui de Colmar Niederwald : 12 en 2001.

Enfin, le **massif de Haguenau** a fait l'objet de **84 IPA** :

- 64 IPA (en 2005) ont été répartis sur 1740 ha de forêts au cœur du massif ;
- 15 IPA en 2006 ont été réalisés au sein de la Réserve Biologique intégrale de 209 ha (pour ces 2 parties : DENIS, 2007) ;
- 5 IPA en 2007 sont disposés dans plusieurs forêts extérieures au massif.

Les Indices Kilométriques d'Abondance

Réalisés au printemps 2000, ils ont été effectués sur 4 parcours totalisant 2 kilomètres dans les petits massifs forestiers rhénans du Nord du Haut-Rhin (DENIS, 2000).

Les coefficients de conversion

La réalisation sur un même secteur et dans un même milieu de mesures de densités selon une méthode absolue (quadrat) et d'estimations d'abondances relatives avec des sondages ponctuels (IPA) permet de calculer des coefficients de conversion, permettant de convertir les IPA moyens en densités absolues (MULLER, 1987). Ces coefficients sont spécifiques (un coefficient par espèce, tenant compte de sa détectabilité) et personnels (chaque auteur entendant et notant les différentes espèces de manière différente). Cette méthode permet d'évaluer les densités de chaque espèce sur de grandes superficies, en lissant les variations locales parfois très importantes. Des **coefficients de conversion** ont pu être calculés pour 54 espèces en plaine d'Alsace.

Plusieurs méthodes de calcul peuvent être appliquées pour définir ces coefficients. Afin de retenir la même méthode de calcul pour toutes les espèces (en particulier recherche non toujours satisfaisante de relation linéaire ou logarithmique), les coefficients de conversion retenus sont les suivants :

- moyennes des coefficients obtenus dans les différents couples densités absolues / IPA moyens de chacune des zones d'étude (54 espèces) ;
- pour quelques espèces, en particulier liées aux résineux, application aux forêts de plaine de coefficients déterminés en montagne par l'auteur (7 espèces) ;
- enfin, les coefficients manquants sont estimés par rapprochement à des espèces à détectabilité a priori similaire (18 espèces, toutes de très faible densité).

Afin de prendre en compte la saturation des IPA en cas de fortes densités, le coefficient de conversion est augmenté d'un facteur 1,5 lorsque l'IPA moyen est lui-même supérieur ou égal à 1,5.

L'estimation des abondances d'oiseaux en terme de densités facilite les comparaisons avec d'autres études où ces densités ont été soit mesurées par la méthode des quadrats, soit estimées de la même façon.

Synthèse

L'ensemble de ces échantillonnages s'étalant sur 10 ans (1998-2007) totalise :

- 6 quadrats de 10 à 15 ha (dont 3 en forêts rhénanes), soit 530 couples de petits passereaux nicheurs précisément recensés sur 71 ha ;
- 6 cartographies des territoires d'espèces peu communes (soit à grands territoires, soit disséminées) sur des massifs de 160 à 1 700 ha (dont 3 sites en forêts rhénanes cumulant 1550 ha), soit 830 couples recensés sur 3660 ha ;
- 400 IPA (dont 162 en forêts rhénanes), soit 200 heures d'écoute quantifiée de 91 espèces d'oiseaux, reliée à des relevés précis des caractéristiques du milieu ;
- 4 parcours IKA totalisant 2 km, et 100 points d'écoute de deux fois 5 minutes en forêts rhénanes, concernant 64 espèces.

3.3. LE RELEVÉ DES VARIABLES DE MILIEU

Chacun des points d'inventaire de l'avifaune par IPA a fait l'objet d'un **relevé des caractéristiques du milieu**, effectué sur place pour la plupart d'entre eux (caractéristiques forestières), sur plan pour quelques uns (topographie) ;

Sur le terrain les variables suivantes ont été relevées :

Essences

– la **surface terrière totale** (Gt), mesurée à l'aide d'un relascope de type « porc épïc », est la somme des sections (en m²) de tous les ligneux rencontrés lors d'un « tour relascopique » à 1,30 mètre de hauteur ; cette variable très utilisée par les forestiers permet, combinée à la hauteur, une estimation du volume de bois ;

– la **surface terrière par essence** (en m²).

Variables structurelles

– la **surface terrière des gros bois** (Ggb, diamètre supérieur ou égal à 47,5 centimètres à 1,30 mètre de hauteur) ;

– le **diamètre du plus gros arbre** (d_{max}) dans un rayon de 30 mètres, calculé à partir de la circonférence mesurée au mètre ruban ;

– la **hauteur moyenne de la strate dominante** (H, toit moyen de la canopée), mesurée à l'aide du dendromètre à mire de type Vertex III. La hauteur mesurée correspond à une strate occupant au minimum un tiers de l'espace à son niveau (la hauteur de quelques arbres dominants la forêt, s'ils présentent un recouvrement de moins d'un tiers, n'est pas prise en compte) ;

– le **taux de recouvrement de la strate arborée** (A), comprenant les étages dominants et co-dominants, noté en dixièmes par estimation visuelle ;

– le **taux de recouvrement de la strate arbustive (a)** , qui considère toute la végétation occupant l'espace entre 1 à 5 mètres de hauteur (estimé en dixièmes également) ;

– la **représentation de chaque stade forestier** dans un rayon de 100 mètres autour du point, en dixièmes, selon une typologie adaptée au regard à la fois du forestier et de l'ornithologue : (i) le semis (premier stade du cycle de la futaie, regroupant les toutes premières années de la vie du peuplement, de moins de 50 centimètres de hauteur et comprenant souvent des plages herbeuses) ; à noter que le « semis » est le plus souvent issu de régénération naturelle aujourd'hui ; (ii) le fourré (stade suivant le semis, peu pénétrable, de 1 à 5 mètres de hauteur, donc constitué uniquement de la strate arbustive) ; (iii) le gaulis / jeune perchis (phase intermédiaire, postérieure au fourré habité uniquement par les oiseaux de la strate arbustive, et précédant le haut perchis qui commence à voir apparaître des oiseaux de la futaie) ; enfin (iv) le stade « adulte » du cycle sylvicultural, dénommé « futaie » en raccourci, mais englobant le haut perchis, la jeune futaie, et la futaie adulte. Ce stade « futaie » représente près de 90 % des milieux forestiers inventoriés. Le taillis (v), très rare en plaine d'Alsace, est aussi noté ; il est souvent constitué de cépées de Charme *Carpinus betulus* ou de Noisetier *Corylus avellana*, considérées comme telles lorsque leur hauteur est comprise entre 5 et 10 mètres ; en deçà, elles rentrent dans la catégorie « fourré », au-delà dans la catégorie « gaulis / perchis » ;

– les **taux d'occupation respectifs de la forêt, des milieux ouverts non forestiers** (prairies / cultures, landes / friches, phragmitaies qui représentent 3 % des surfaces étudiées), **des surfaces en eau (1 %)** et **des habitations** sont relevés dans un rayon de 100 mètres.

Topographie

– l'**altitude** (alt, sur Système d'Information Géographique – SIG – d'après un Modèle Numérique de Terrain fourni par l'Inventaire Géographique National) ;

– les coordonnées géographiques (**latitude y** et **longitude x**) en coordonnées Lambert II étendu (sur SIG) ;

– la **superficie du massif forestier** (mas) dans lequel est effectué le relevé, en kilomètres carrés, d'après le nombre de nœuds d'une grille carrée kilométrique couvrant la plaine d'Alsace. Une distance minimale de 300 mètres est retenue pour considérer deux massifs distincts. Cette surface est extrêmement variable puisque le massif de Haguenau couvre 210 km², le massif de la Hardt environ 140 km², la moyenne de l'ensemble des autres massifs forestiers de plaine étant de 15 km² (d'après les points retenus dans le cadre de la présente étude) ;

– la **distance à la lisière** (d) externe la plus proche, mesurée sur carte IGN au 1/25000^{ème}, en classes hectométriques (« 2 » par ex. signifie « entre 150 et 250 mètres de la lisière »). Le Rhin et ses annexes hydrauliques sont considérés comme constituant systématiquement une lisière externe ; une enclave de 50 hectares est considérée comme générant une lisière externe ;

– la **profondeur de la nappe phréatique**, obtenue par soustraction entre l'altitude du point et la hauteur du toit de la nappe d'après la carte piézométrique des basses eaux du 9 et 10 septembre 1991 (Initiative communautaire InterReg : Cartographie hydrogéologique du Rhin supérieur, Région Alsace, Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Ministère de l'Environnement, Umweltministerium Baden-Württemberg). La profondeur de la nappe est arbitrairement arrêtée à 50 mètres pour les points d'inventaire situés dans la partie Est du massif de Haguenau, en dehors de la nappe aquifère d'Alsace. Dans les analyses statistiques, on considèrera le logarithme à base 2 de la profondeur de la nappe (\lnap), reflétant mieux l'influence de celle-ci sur la végétation (la valeur zéro est renvoyée pour une profondeur nulle).

3.4. L'ANALYSE STATISTIQUE

Sauf indication contraire, les analyses statistiques réalisées dans le cadre de ce mémoire l'ont été à l'aide du **logiciel** programmable **R**, version 2.7.1 (RDCT, 2005). Ce logiciel libre, distribué sous les termes de la *GNU (General Public Licence)* est disponible dans les archives du CRAN (*Comprehensive R Archives Network*), par exemple par l'intermédiaire du site [http : // www.r-project.org](http://www.r-project.org) (PARADIS, 2005). *R* est à la fois un logiciel et un langage, dit « dialecte de S ». Le *package ade4 (Analysis of Ecological Data : Exploratory and Euclidean methods in Environmental sciences)*, est indispensable pour les analyses réalisées.

La variabilité structurale est étudiée par l'**Analyse en Composantes Principales (ACP)**, faisant intervenir la mesure des distances euclidiennes. Le cercle des corrélations permet de visualiser les relations entre variables. La matrice des corrélations permet d'en mesurer l'importance.

Les tableaux de contingence (abondances des espèces ou des essences) sont étudiés à l'aide de l'**Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)**. La proximité, ou mesure des ressemblances, est quantifiée cette fois par la distance du Chi2, c'est-à-dire en ayant recours aux fréquences relatives d'apparitions des espèces ou des essences dans chacun des relevés. Cette méthode permet d'éviter en particulier d'établir de fausses ressemblances en cas de double absence.

L'étude de l'influence d'un tableau de variables sur un tableau de contingence fait intervenir l'**Analyse Factorielle des Correspondances à Variables Instrumentales (AFCVI)**, encore appelée AFC sous contrainte linéaire ou Analyse Canonique des Correspondances. L'abondance des espèces ou des essences est ici remplacée par une combinaison linéaire des variables mesurées (BRAU-NOGUE, 1996). Autrement dit, l'analyse « ignore » les sources de variations non mesurées, contraignant les espèces ou essences à être des relations linéaires des variables mesurées (PRODON *et al.*, 1994). Le rapport des traces (somme des valeurs propres) de l'AFCVI et de l'AFC initiale permet de quantifier la pertinence de l'analyse (il mesure la part de variance conservée après transformation linéaire).

Quelques analyses multivariées, spécifiées dans le texte, ont été réalisées à l'aide du **logiciel Statistica**, version 7.1. La méthode d'agrégation retenue pour les Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH) est la méthode dite « de Ward », la mesure des distances étant euclidienne.

Le logiciel *EstimateS*, version 7.0.0 a été utilisé pour les calculs de comparaison de richesse, de diversité et de similarité.

La recherche de relations entre espèces et variables du milieu est réalisée par **régression linéaire multiple**. Les résultats des modèles linéaires de régression sont pris en compte lorsque tous les critères sont significatifs, par calcul itératif après élimination à chaque étape de la variable la moins pertinente.

Par souci de facilité de lecture, les différentes **catégories de significativité statistique** seront signalées dans le texte par les symboles suivants :

- *** corrélation très hautement significative (valeur de p inférieure à 0,001)
- ** corrélation hautement significative (valeur de p comprise entre 0,01 et 0,001)
- * corrélation significative (valeur de p comprise entre 0,05 et 0,01).

3.5. PATRIMONIALITE

Sur la base de l'appartenance aux différentes listes rouges, l'auteur a attribué une « **note de patrimonialité** » à chaque espèce d'oiseau (DENIS, 2006 modifié). Selon leur place dans l'échelle de rareté des livres rouges régional (ODONAT, 2003), national et européen (ROCAMORA *et al.*, 1999), chaque espèce d'oiseau reçoit une note sur 10 (les espèces à la plus forte patrimonialité se voient attribuer la note 10 – les espèces non patrimoniales reçoivent par défaut la note 0,1).

La patrimonialité globale d'un secteur étudié, ou d'un groupe d'espèces, est calculée en sommant les notes de patrimonialité des espèces concernées, pondérées par leurs densités.

4. ANALYSE DES RELATIONS AVIFAUNE NICHEUSE / MILIEU FORESTIER DANS LES FORÊTS RHÉNANES

4.1. LE MILIEU FORESTIER RHÉMAN

4.1.1. RESULTATS BRUTS

A partir des caractéristiques du milieu décrites sur les 162 points d'IPA, la forêt rhénane étudiée moyenne se présente comme une chênaie-frênaie (ces deux essences représentent plus de 35 % de la surface terrière) très mélangée à diverses essences feuillues (dont les peupliers qui, toutes espèces confondues, totalisent près de 20 % de la surface terrière). La surface terrière totale, avec 13,6 m²/ha, est faible ; les gros bois en représentent 19 %. Ces forêts sont très ouvertes, la strate arborescente présente une couverture moyenne de 53 % ; la strate arbustive est par contre très recouvrante (72 %). Le plus gros arbre de la placette mesure en moyenne 65 centimètres de diamètre, la hauteur moyenne de la canopée est de 25 mètres. Les points d'inventaire se situent en moyenne dans des massifs de 1500 ha, et sont à 260 mètres de la lisière. La nappe phréatique est à 2,3 mètres de profondeur en moyenne. On trouve des bras d'eau dans 20 % des placettes, des phragmites dans 13 %, des fourrés-jeunes perchis dans 26 % (Tableau VI).

4.1.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE DU MILIEU

Les caractéristiques moyennes des forêts rhénanes étant posées, et le but étant d'étudier les relations entre l'avifaune et les caractéristiques forestières rhénanes, il est intéressant de rechercher comment est structuré ce milieu forestier : existe-t-il en particulier des corrélations entre les différentes variables mesurées ? Quelles caractéristiques expliquent au mieux les variabilités constatées ?

La structure des forêts rhénanes est complexe, il n'est souvent pas possible d'identifier les stades forestiers classiquement définis pour la futaie régulière (semis, fourré, perchis etc ...). Près de 90 % des superficies des placettes étant classées en « futaie », il n'est dès lors pas possible d'utiliser ce critère dans les analyses.

Variables structurelles

Aucune corrélation forte entre variables structurelles n'est mise en évidence. Une corrélation faible existe cependant entre la couverture arborescente et la surface terrière

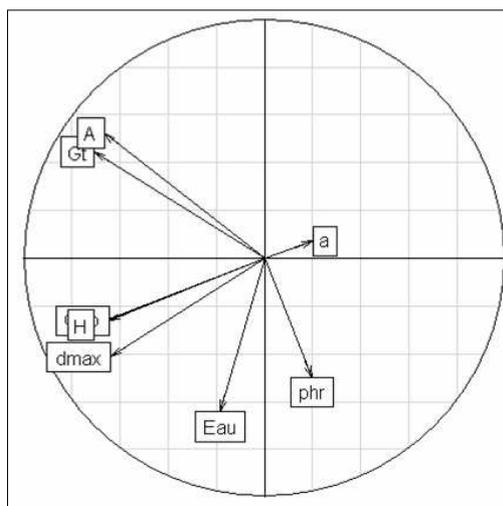


Figure 4 – Cercle des corrélations issu de l'ACP sur variables structurelles en forêt rhénane. Plan F1 F2.

Tableau VI - Caractéristiques forestières moyennes des forêts rhénanes étudiées.

	moyenne	Fréquence
variables structurelles		
surface terrière totale (en m ²)	13.6	
surface terrière en gros bois (en m ²)	2.3	
pourcentage de gros bois	19	
diamètre maximum (en cm)	65	
hauteur du peuplement (en m)	25	
couverture arborescente (en dixièmes)	5.3	
couverture arbustive (en dixièmes)	7.2	
bras en eau (en dixièmes)	0.33	20
phragmitaies (en dixièmes)	0.21	13
essences (en m² de surface terrière)		
Aulne glutineux	0.2	11.7
Bouleau verruqueux	0.3	13.0
Charme	0.4	13.6
chênes	2.7	66.0
érables	1.2	34.0
Frêne commun	2.2	46.9
Hêtre	0.2	6.8
Merisier	0.1	4.9
Peuplier de culture	1.1	17.3
Peuplier "grisard"	0.7	14.8
Peuplier noir	0.8	23.5
saules	0.6	18.5
Tilleul	0.8	21.0
autres feuillus	1.4	45.7
Pin sylvestre	0.2	2.5
autres résineux	0.1	1.2
variables topographiques		
longitude (Lambert II étendu)	997 342	
latitude (Lambert II étendu)	2 383 623	
altitude (en m)	161	
superficie du massif (en km ²)	15.5	
distance à la lisière (en hm)	2.6	
profondeur de la nappe (en m)	2.3	

totale (coefficient de corrélation = 0,62). Les trois premiers axes de l'ACP (Figure 4) réalisée sur les huit variables structurelles emportent respectivement 30, 18 et 14 % de la variabilité structurelle. Le premier facteur de variabilité représente le volume de végétation : surface terrière totale et couverture arborescente. Le second facteur traduit la taille des arbres : hauteur du peuplement, diamètre maximum mesuré sur la placette et surface terrière en gros bois. Enfin, le troisième axe (non représenté ici) représente l'occupation de la strate basse : d'une part la couverture arbustive, d'autre part la présence de phragmites.

Topographie

L'étude des corrélations entre variables fait apparaître de très fortes corrélations entre la latitude, la longitude et l'altitude (coefficients de corrélation supérieurs ou égaux à 0,9). On ne conservera donc que la latitude dans les calculs ultérieurs. On notera également une tendance à la corrélation de ces trois variables avec la profondeur de la nappe phréatique, qui tend à se rapprocher de la surface quand on monte en latitude dans le fossé rhénan. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) est réalisée sur les quatre variables restantes (Figure 5). Les trois premiers axes emportent respectivement 49, 27 et 15 % de la variabilité. Le premier axe d'étirement représente la position géographique Sud-Nord dans le fossé rhénan, associée à la profondeur de la nappe phréatique. Le second axe traduit la taille du massif forestier et la distance à la lisière, totalement indépendants de la position géographique (ces deux critères sont dissociés sur le troisième axe).

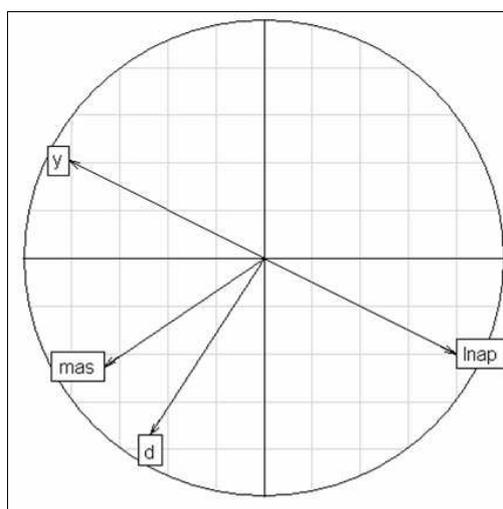


Figure 5 – Cercle des corrélations issu de l'ACP sur variables topographiques en forêt rhénane. Plan F1 F2.

Importance relative de la structuration locale ou du facteur topographique

Afin d'évaluer l'importance relative de la structuration forestière locale et de la position géographique, une ACP est réalisée sur l'ensemble des variables précédentes non corrélées entre elles. Aucune corrélation n'est mise en évidence entre variables structurelles et variables topographiques. Les trois premiers axes emportent respectivement 23, 16 et 13 % de la variabilité. Le premier facteur représente la taille des arbres, sur les mêmes critères que précédemment. Le second facteur sépare d'une part la taille du massif forestier associé à la distance à la lisière, d'autre part la couverture arborescente. Enfin, le troisième axe traduit, comme précédemment, l'occupation de la strate basse. La position Nord-Sud n'intervient qu'ensuite (quatrième axe).

Les éléments structurant les forêts rhénanes étudiées sont donc :

- en premier lieu, la présence / absence de grands et gros arbres,

– ensuite la présence d’un fort volume de bois (indépendamment de la présence de gros arbres) souvent concomitante à la fermeture de la canopée, opposée à la taille du massif forestier,

– enfin, l’abondance de la strate arbustive, ou la présence de phragmites.

La position le long du gradient amont-aval est également déterminante (la profondeur de la nappe lui étant assez bien corrélée).

Essences

Les essences très peu représentées dans les forêts étudiées, de surface terrière moyenne inférieure à 0,5 m²/ha, sont exclues de l’analyse, ainsi que les « autres feuillus » pour leur manque de pertinence ici. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est réalisée sur les sept essences restantes (Figure 6). Les trois premiers axes isolent respectivement 23, 20 et 18 % de la variabilité. Aucune corrélation forte entre essences n’est détectée.

Le premier axe isole totalement le Peuplier de culture des autres essences. Ceci s’explique à l’évidence par le fait que les peupleraies de culture sont toujours monospécifiques et équiennes (une seule essence et tous les arbres du même âge), à la différence des autres forêts rhénanes toujours mélangées et pluristratifiées. Le second axe isole le Peuplier grisard, qui forme des peupleraies – naturelles cette fois – de structure assez similaire aux peupleraies cultivées. Les troisième et quatrième axes (non représentés) isolent respectivement le Tilleul et le Peuplier noir, caractéristiques des forêts sèches intra-rhénanes.

En terme d’essences, le « cœur » des forêts rhénanes est formé par le Chêne, le Frêne et les érables. Les peupliers et le Tilleul créent des « irrégularités » mises en évidence par l’analyse.

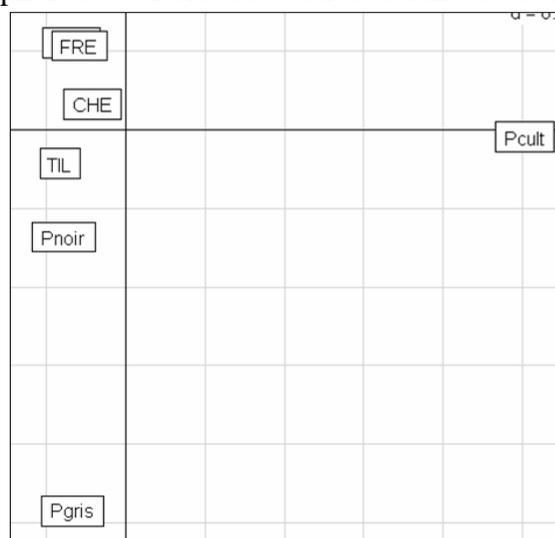
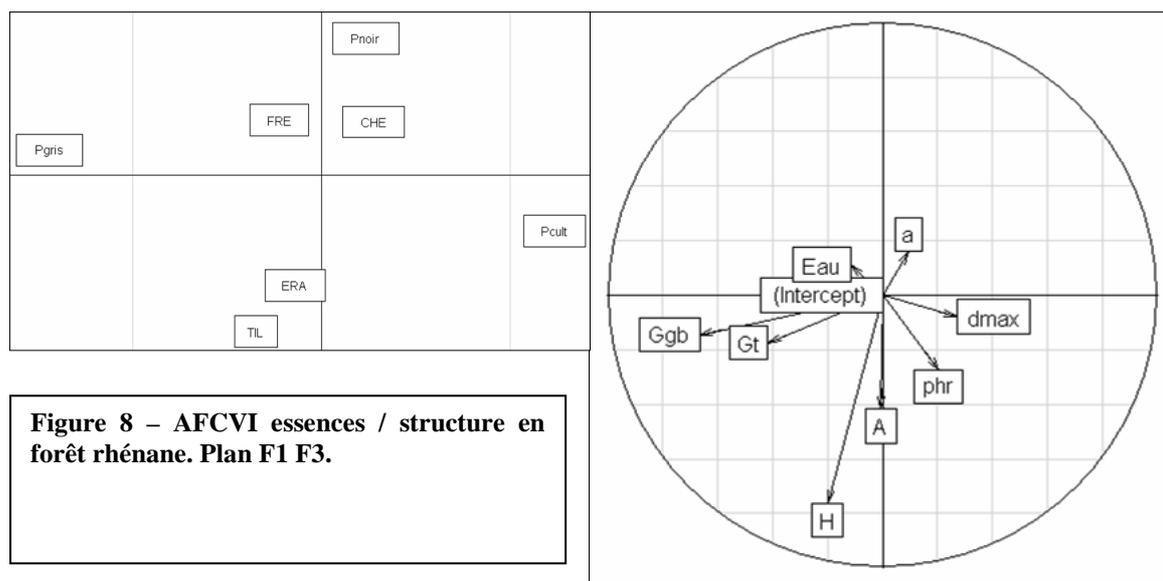
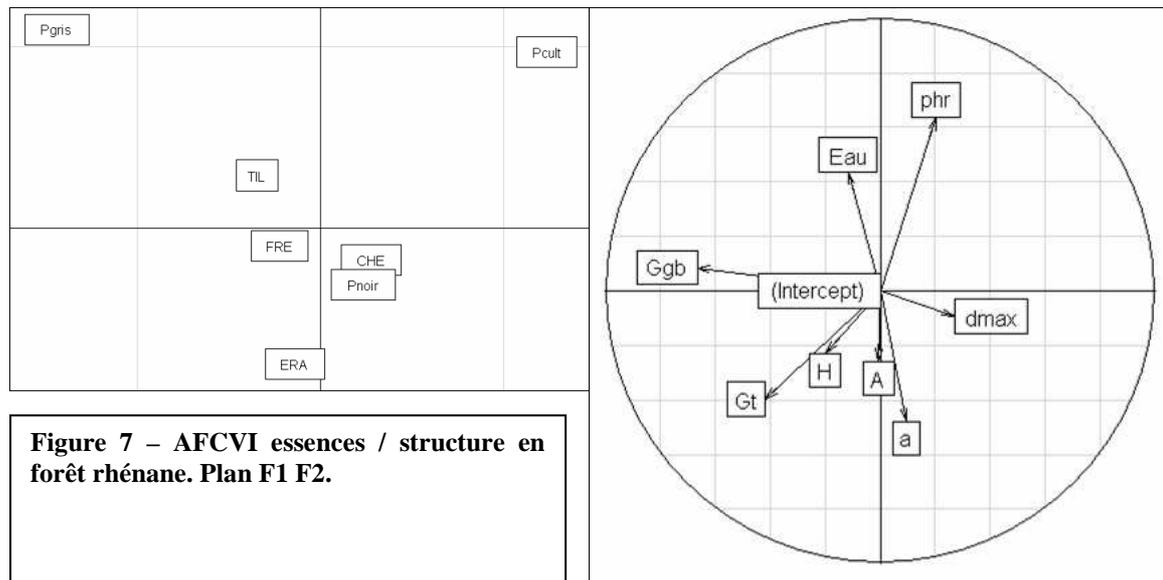


Figure 6 – AFC sur les essences en forêt rhénane. Plan F1 F2.

Relations entre les gradients d’essences et de structure

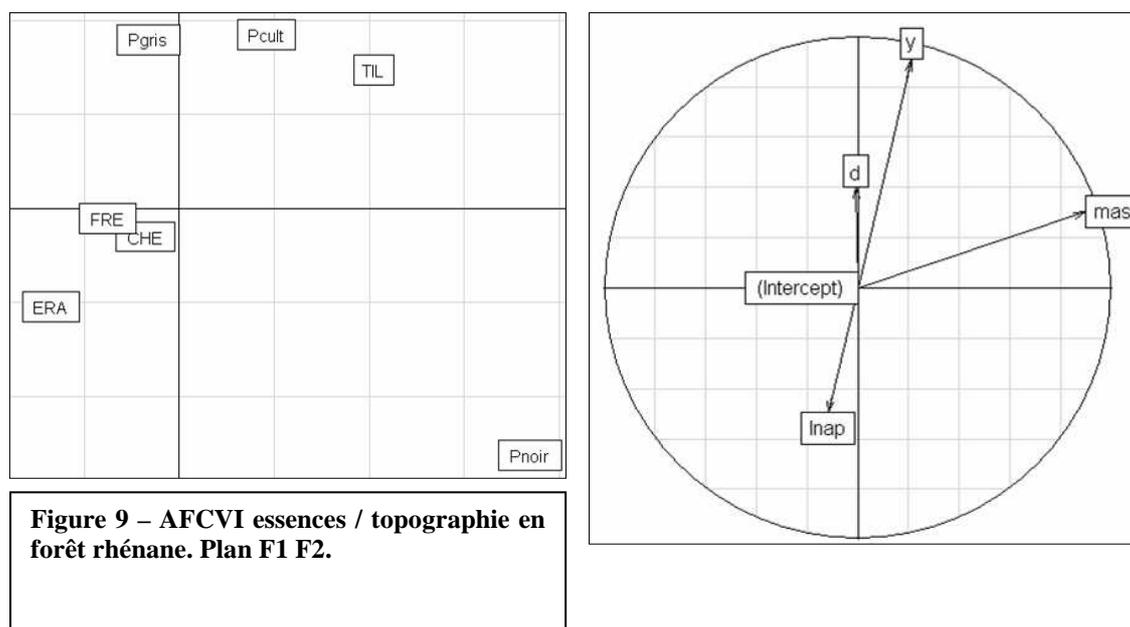
Afin de mieux cerner l’organisation des forêts rhénanes, toujours dans le but d’en comprendre l’influence sur l’avifaune, il est intéressant d’étudier comment les gradients d’essences sont expliqués par les gradients de structure. Une Analyse Factorielle des Correspondances à Variables Instrumentales (AFCVI) est réalisée. Les trois premiers axes retiennent respectivement 38, 31 et 21 % de la variabilité (Figures 7 et 8). Le rapport des traces AFCVI/AFC est de 0,077. Le rapport nombre de variables / nombre de relevés –1 est égal à 0,075. On constate que 7,7 % de la variabilité des essences est mesurée par les variables introduites dans l’analyse (la part restante provient soit de variables non mesurées, telle que la sylviculture par exemple, soit du simple hasard). En tout état de

cause, l'AFCVI extrait une très faible variabilité supplémentaire, soit 2 % (7,7 – 7,5) par rapport à l'AFC.



Les variables structurelles permettant au mieux d'expliquer la variabilité des essences forestières, parmi les variables mesurées, sont la surface terrière en gros bois corrélée à la présence de Peuplier grisard, la surface terrière totale, la présence de phragmites et d'eau, corrélées positivement aux Peupliers de culture et grisard et négativement au Tilleul et aux érables, la couverture arbustive puis la hauteur du peuplement.

Relations entre les gradients d'essences et de topographie



L'AFCVI réalisée entre essences et topographie (Figure 9) montre que la superficie du massif est le premier critère de différenciation des essences, suivi par la position sur le gradient Sud-Nord (Peuplier noir en amont dans de grands massifs, Peupliers de culture et grisard en aval par exemple).

4.2. L'AVIFAUNE DES FORETS RHENANES

4.2.1. LES ESPECES ET LEURS ABONDANCES

Fréquences

Les espèces d'oiseaux (quasi-) omniprésentes dans les IPA, de fréquence supérieure ou égale à 90 %, sont par ordre décroissant (Tableau VII) la Fauvette à tête noire (98 %), la Mésange charbonnière (97), le Merle noir, le Pinson des arbres et le Pouillot véloce (96), le Pic épeiche (93), la Corneille noire (91) et le Pigeon ramier (90).

Une analyse par type forestier (frênaie, chênaie etc ...) s'avère impossible, les forêts rhénanes étant extrêmement mélangées : très peu de points comportent une essence vraiment dominante en pourcentage de surface terrière.

Densités

Les densités de 56 espèces d'oiseaux ont été mesurées au sein des quadrats (Tableau VIII) . On compte de 31 à 38 espèces sur des superficies de 12 à 14 ha. Sur les sites inventoriés, la Fauvette à tête noire est l'espèce la plus abondante avec 12,7 couples / 10 ha en moyenne ; ses densités peuvent dépasser 15 couples / 10 ha. Les 7 espèces les plus abondantes représentent ensemble 65 % des couples nicheurs, et sont par ordre décroissant après la Fauvette à tête noire : le Pinson des arbres (9,3 couples / 10 ha), la

Tableau VII - IPA moyens, fréquences et densités obtenues par conversion des IPA des espèces rencontrées en forêts rhénanes

espèces	ipa moyens	fréquences	densités
accenteur mouchet	0.19	17.9	0.6
autour des Palombes	0.01	1.2	+
bergeronnette grise	0.01	1.9	+
bruant des roseaux	0.01	1.2	0.1
bruant jaune	0.15	13.6	0.5
busard des roseaux	0.00	0.6	+
buse variable	0.03	6.2	+
canard chipeau	0.01	0.6	+
canard colvert	0.15	16.0	0.6
chardonneret élégant	0.01	0.6	0.1
corneille noire	0.74	90.7	1.8
coucou gris	0.65	56.2	0.2
choucas des tours	0.01	1.9	-
cygne tuberculé	0.05	5.6	0.1
épervier d'Europe	0.00	0.6	+
étourneau sansonnet	0.55	56.2	3.9
faisan de Colchide	0.11	21.6	0.1
faucon crécerelle	0.01	1.2	+
fauvette à tête noire	1.83	98.1	14.4
fauvette des jardins	0.10	9.9	0.5
fauvette grisette	0.01	1.2	0.1
foulque macroule	0.07	10.5	0.1
fuligule morillon	0.02	1.2	+
faucon pèlerin	0.00	0.6	-
gallinule poule d'eau	0.00	0.6	+
geai des chênes	0.32	50.0	0.1
gobemouche gris	0.02	2.5	0.1
gobemouche noir	0.01	1.9	+
goéland leucopnée	0.03	2.5	-
grand cormoran	0.09	8.0	-
grèbe castagneux	0.03	3.1	0.2
grimpereau des bois	0.04	3.7	0.1
grimpereau des jardins	0.48	50.6	1.9
grive draine	0.02	1.9	+
grive litorne	0.02	1.2	+
grive mauvis	0.03	0.6	-
grive musicienne	1.17	89.5	2.0
grosbec casse-noyaux	0.12	16.7	1.0
héron cendré	0.03	4.9	+
hirondelle de fenêtre	0.04	1.2	-

les ipa sont de deux fois 15 minutes, les densités sont données aux 10 ha

espèces	ipa moyens	fréquences	densités
hypolais icterine	0.02	1.9	+
hirondelle rustique	0.05	6.2	-
locustelle tachetée	0.02	1.9	0.1
loriot d'Europe	0.39	37.7	0.8
martinet noir	0.26	15.4	-
martin-pêcheur d'Europe	0.02	4.3	0.1
merle noir	1.44	96.3	2.9
mésange à longue queue	0.12	13.0	0.7
mésange bleue	0.47	51.9	3.7
mésange boréale	0.01	0.6	+
mésange charbonnière	1.36	96.9	6.6
mésange nonnette	0.29	29.6	1.2
milan noir	0.02	3.1	+
mouette rieuse	0.17	16.7	-
pic épeiche	1.04	92.6	1.5
pic épeichette	0.08	8.0	0.1
pic mar	0.15	14.8	0.3
pic noir	0.08	10.5	+
pic vert	0.31	32.1	0.1
pigeon colombin	0.02	1.9	+
pigeon ramier	1.16	90.1	0.7
pinson des arbres	1.70	96.3	11.9
pipit des arbres	0.01	1.2	+
pouillot fitis	0.29	25.9	0.6
pouillot siffleur	0.01	1.2	+
pouillot véloce	1.39	96.3	4.8
roitelet triple-bandeau	0.03	3.1	0.1
rossignol philomèle	0.04	3.7	0.1
rouge-gorge familier	0.9	78.4	3.5
rousserolle effarvate	0.13	8.0	0.9
rousserolle verderolle	0.01	1.2	+
sittelle torchepot	0.53	66.7	1.2
tarin des aulnes	0.02	0.6	-
torcol fourmilier	0.01	1.2	+
tourterelle des bois	0.57	51.9	0.4
tourterelle turque	0.01	1.2	+
troglydite mignon	1.08	84.6	2.6
vanneau huppé	0.01	0.6	-
verdier d'Europe	0.09	8.0	0.2

grisé : espèce non nicheuse

+ : densité inférieure à 0.05 couple / 10 ha

Tableau VIII - Densités aux 10 ha mesurées par l'auteur dans les quadrats en forêts rhénanes

	LW	iM	iM-a	iM-b	M B	HR	MS	LW
superficie (ha)	14.0	12.8	5.8	7.0	12.0	350	680	520
Grèbe castagneux	0.0	0.0			0.0	0.40	0.19	0.06
Grèbe huppé	0.0	0.0			0.0		0.05	0.02
Héron cendré	0.0	0.0			0.0			0.04
Cygne tuberculé	0.0	0.0			0.0	0.26	0.15	0.17
Canard colvert	0.7	0.0			0.8			0.10
Milan noir	0.0	0.0			0.0	0.03		
Busard des roseaux	0.0	0.0			0.0	0.03		
Bondrée apivore	0.0	0.0			0.0	0.03		
Faucon hobereau	0.0	0.0			0.0	0.03		
Râle d'eau	0.0	0.0			0.0	0.36		
Gallinule Poule d'eau	0.0	0.4	0.9		0.0			
Foulque macroule	0.4	0.0			0.0			0.17
Pigeon colombin	0.0	0.0			0.0			0.04
Pigeon ramier	0.4	1.2	1.4	1.0	0.5			0.33
Tourterelle des bois	0.7	1.6	1.7	1.4	0.7			0.16
Coucou gris	x	x	x	x	x			0.14
Martin-pêcheur d'Europe	0.0	0.0			0.4	0.23	0.13	0.02
Pic noir	x	x	x	x	x			0.02
Pic vert	x	x	x	x	x			0.07
Pic épeiche	1.4	1.6	1.7	1.4	2.1			0.79
Pic mar	0.0	0.6	1.4		0.5			0.12
Pic épeichette	0.0	x	x	x	x			0.10
Bergeronnette grise	0.0	0.0			0.0			0.15
Troglodyte mignon	2.1	3.1	4.3	2.1	1.3			
Accenteur mouchet	0.7	0.6	1.4		0.0			0.31
Rouge-gorge familier	2.1	6.3	5.2	7.1	1.3			
Rosignol philomèle	0.7	0.0			0.0			0.04
Rougequeue noir	0.0	0.0			0.0			0.04
Grive musicienne	1.8	5.1	4.3	5.7	3.3			0.67
Grive draine	0.0	0.0			0.0			0.02
Merle noir	1.4	3.9	5.2	2.9	7.1			
Fauvette des jardins	1.4	0.0			0.0			0.19
Fauvette à tête noire	11.8	10.5	13.8	7.9	15.8			
Fauvette grisette	0.7	0.0			0.0			0.04
Locustelle tachetée	0.0	0.8		1.4	0.0			
Rousserolle effarvate	7.1	2.7	6.0		0.0	2.79	0.42	0.54
Rousserolle verderolle	0.0	0.0			0.0			0.12
Hypolaïs icterine	0.0	0.0			0.0			0.04
Pouillot fitis	0.4	0.9		1.6	2.5			
Pouillot véloce	9.3	9.4	6.9	11.4	1.7			
Gobemouche gris	0.0	0.0			0.4			0.02
Mésange charbonnière	5.4	9.0	12.1	6.4	9.6			
Mésange bleue	4.3	7.0	10.3	4.3	5.8			
Mésange nonnette	2.5	1.6	1.7	1.4	0.8			
Mésange à longue queue	0.7	0.8		0.7	0.8			
Sittelle torchepot	2.1	0.8	0.9	0.7	0.8			
Grimpereau des bois	0.0	0.0			0.0			0.08
Grimpereau des jardins	1.1	1.4	1.9	1.0	1.3			
Etourneau sansonnet	2.1	4.7	8.1	1.9	6.7			
Loriot d'Europe	x	0.8	0.9	0.7	1.3			0.19
Pinson des arbres	7.9	5.1	6.9	3.6	15.0			
Chardonneret élégant	0.7	0.0			0.0			
Verdier d'Europe	0.4	0.0			0.0			0.15
Grosbec casse-noyaux	0.7	2.0	2.6	1.4	1.7			
Bruant des roseaux	0.7	0.0			0.0	0.49		
Bruant jaune	0.7	0.0			0.0			0.27
nombre d'espèces quantifiées	30	25	22	21	24	10	5	32
densité mesurée	72.4	81.9	99.6	66.0	82.2	4.7	0.9	5.2
nombre total d'espèces	38	33	30	29	31			
densité totale	74	84	102	69	84			

Légende
LW : La Wantzenau
iM : île de Marckolsheim
iM-a : île de Marckolsheim, secteur a
iM-b : île de Marckolsheim, secteur b
MB : Marckolsheim-Bogenheim
HR : massif du Nord du Haut-Rhin
MS : massif de Marckolsheim-Schoenau
x : présence non quantifiée

Mésange charbonnière (8,0), le Pouillot véloce (6,8), la Mésange bleue (5,7), l'Étourneau sansonnet (4,5) et le Merle noir (4,1).

D'autres espèces peuvent localement atteindre de fortes densités : la Rousserolle effarvatte et le Rouge-gorge familier (7,1 couples / 10 ha chacun), ou la Grive musicienne (5,7) par exemple.

Les **densités totales** mesurées sur les quadrats de 12 à 14 ha vont de 74 à 84 couples / 10 ha. Cependant en milieu rhénan, la variabilité des densités est à la mesure de la variabilité du milieu, très forte. Le quadrat de 12,8 ha de l'île de Marckolsheim a été découpé, après inventaire, en 2 secteurs à physionomie différente de 7,0 et 5,8 ha afin de préciser les différences d'abondances selon les milieux. On montre alors que la densité moyenne de 84 couples / 10 ha varie de 69 sur l'un à 102 couples / 10 ha sur l'autre. La valeur de 102 couples / 10 ha est la plus élevée que j'ai personnellement jamais mesurée en forêt alsacienne. Inversement, la densité peut même être nulle par endroit ; ainsi dans une « lande » à Solidage partiellement occupée seulement par un couple de Locustelle tachetée.

L'application des **coefficients de conversion** aux IPA moyens par espèce sur l'ensemble des points inventoriés en forêt rhénane donne une densité moyenne de 74 couples / 10 ha. Globalement, les espèces les plus abondantes sont (Tableau VII) la Fauvette à tête noire (14,4 couples / 10 ha), le Pinson des arbres (11,9), la Mésange charbonnière (6,6), le Pouillot véloce (4,8) et l'Étourneau sansonnet (3,9).

Les 4 parcours **IKA** ont permis de recenser 53 espèces nicheuses (Tableau IX), pour des « IKA totaux » comptant de 133 à 189 couples / km. On retrouve les mêmes espèces parmi les mieux représentées : Fauvette à tête noire, Pinson des arbres, Pouillot véloce, Rouge-gorge familier, Rousserolle effarvatte, Étourneau sansonnet. L'absence de coefficients de conversion pour cette méthode d'inventaire ne permet pas d'extrapolation de densités.

Relations espèces / milieu

Des relations linéaires avec les variables du milieu sont recherchées pour les principales espèces rencontrées (Tableau X). On notera que la Fauvette à tête noire est quasi insensible à la structure en forêt rhénane : celle-ci semble lui être presque partout favorable. Son abondance décroît cependant avec la superficie des massifs forestiers. Elle évite le Tilleul, sans doute en raison de la structure forestière inhérente à cette essence. Le Pinson des arbres est dépendant de la surface terrière totale et de la surface terrière en gros bois. Son abondance est fortement sensible à la taille des massifs : il est plus abondant dans les grandes forêts. Citons encore la Mésange bleue, le Pic épeiche ou la Sittelle torchepot dont les abondances croissent avec le diamètre du plus gros arbre mesuré sur la placette, ou le Grimpereau des jardins lié à la hauteur du peuplement. Des relations (à ce stade inexplicables) relient beaucoup d'espèces à la position sur le gradient amont-aval du fleuve : la plupart voient leurs densités augmenter en montant en latitude, c'est-à-dire en descendant la plaine du Rhin.

Tableau IX - IKA réalisés par l'auteur en forêt rhénane

en nombre e couples contactés par kilomètre

parcours	I	II	III	IV
longueur (m)	400	600	500	500
Accenteur mouchet	0.0	0.8	0.0	4.0
Alouette des champs	0.0	0.0	0.0	2.0
Bergeronnette grise	2.5	1.7	2.0	2.0
Bouvreuil pivoine	0.0	0.0	2.0	0.0
Bruant des roseaux	0.0	1.7	0.0	8.0
Bruant jaune	2.5	0.8	0.0	2.0
Busard des roseaux	0.0	1.7	0.0	0.0
Buse variable	2.5	1.7	2.0	2.0
Cornelle noire	2.5	1.7	2.0	2.0
Coucou gris	2.5	4.2	6.0	7.0
Cygne tuberculé	0.0	3.3	0.0	1.0
Epervier d'Europe	0.0	1.7	2.0	0.0
Etourneau sansonnet	5.0	16.7	4.0	2.0
Faisan de Colchide	2.5	1.7	2.0	4.0
Fauvette à tête noire	12.5	10.0	10.0	11.0
Foulque macroule	0.0	11.7	0.0	4.0
Gallinule Poule d'eau	0.0	4.2	0.0	2.0
Geai des chênes	2.5	1.7	4.0	2.0
Grèbe castagneux	0.0	10.0	0.0	2.0
Grimpereau des jardins	0.0	4.2	2.0	0.0
Grive musicienne	6.3	5.8	6.0	2.0
Gros bec casse-noyaux	0.0	1.7	2.0	0.0
Héron cendré	2.5	1.7	0.0	0.0
Loriot d'Europe	2.5	3.3	0.0	3.0
Martin-pêcheur d'Europe	5.0	3.3	0.0	0.0
Merle noir	5.0	7.5	6.0	4.0
Mésange à longue queue	2.5	1.7	2.0	2.0
Mésange bleue	5.0	6.7	6.0	6.0
Mésange boréale	0.0	1.7	0.0	0.0
Mésange charbonnière	6.3	7.5	6.0	6.0
Mésange nonnette	0.0	2.5	2.0	2.0
moineau friquet	0.0	1.7	0.0	0.0
Pic épeiche	3.8	2.5	6.0	2.0
Pic épeichette	2.5	0.0	0.0	1.0
Pic mar	2.5	0.0	4.0	0.0
Pic noir	2.5	1.7	0.0	0.0
Pic vert	2.5	1.7	2.0	0.0
Pigeon ramier	3.8	3.3	4.0	2.0
Pinson des arbres	7.5	13.3	11.0	3.0
Pouillot fitis	2.5	1.7	1.0	0.0
Pouillot véloce	8.8	6.7	12.0	6.0
Râle d'eau	0.0	3.3	0.0	0.0
Roitelet à triple-bandeau	2.5	0.0	0.0	0.0
Roitelet huppé	0.0	0.0	2.0	0.0
Rossignol philomèle	0.0	1.7	0.0	8.0
Rougegorge familier	10.0	6.7	13.0	2.0
Rousserolle effarvate	0.0	16.7	0.0	10.0
Sittelle torchepot	5.0	4.2	5.0	1.0
Tourterelle des bois	7.5	2.5	2.0	6.0
Troglodyte mignon	8.8	5.0	8.0	2.0
Verdier d'Europe	0.0	0.0	0.0	2.0
nombre d'espèces	31	44	30	35
somme des IKA	140	195	138	127

Tableau X - Relations linéaires entre oiseaux et variables du milieu en forêt rhénane.

	Gt	Ggb	H	dmax	A	a	Eau	phr	CHE	ERA	FRE	Pgris	Pnoir	Pcult	TIL	y	mas	d
richesse				**	***	*												
Accenteur mouchet	***		**			*			*									
Corneille noire							*										*	
Etourneau sansonnet																		
Fauvette à tête noire															**		*	
Grimpereau des jardins			*															
Grive musicienne		*																
Merle noir						*										***		
Mésange bleue				**						*								*
Mésange charbonnière		*							*									
Pic épeiche				*								**				**		
Pigeon ramier																		
Pinson des arbres	**	*														**	***	
Pouillot véloce		***				*												***
Rougegorge familier	**				***												*	
Rousserolle effarvate							**	***				*				*		
Sittelle torchepot				**												*	***	
Troglodyte mignon			***													**		

corrélation positive *** corrélation très hautement significative * corrélation significative
corrélation négative ** corrélation hautement significative "blanc" absence de corrélation

4.2.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE AVIFAUNISTIQUE DANS LES FORETS RHENANES

Richesse

Les 162 IPA réalisés en forêt rhénane ont permis de recenser 79 espèces, dont 11 espèces non nicheuses (soit 16 % d'espèces observées non nicheuses). Le nombre total d'espèces contactées par point d'IPA est de 18,1 dont 17,6 espèces nicheuses (intervalle de confiance à 5 % = 0,41 en ne considérant que les espèces nicheuses) : 26 % des espèces nicheuses en forêt rhénane sont donc rencontrées en moyenne en un point d'écoute de deux fois 15 minutes ! Le rapport a/N, où a est le nombre d'espèces contactées une seule fois et N le nombre total d'IPA, donne une bonne appréciation de la qualité de l'inventaire (FERRY, 1976). On peut considérer qu'un inventaire est « acceptable » si ce rapport est inférieur ou égal à 0,5 et « complet » s'il est inférieur ou égal à 0,1 ; il est ici de 0,04.

Au total, tous échantillonnages confondus, 90 espèces ont été recensées dans les forêts rhénanes, dont 78 espèces nicheuses. Quelques autres espèces ont été contactées en période de nidification, hors inventaires quantifiés (Rougequeue à front blanc *Phoenicurus phoenicurus*, Bergeronnette des ruisseaux *Motacilla cinerea* ...), portant à **plus de 80 les espèces nicheuses rencontrées**.

La richesse varie évidemment en fonction de la superficie échantillonnée. On recense en moyenne 17,6 espèces « au point », de 30 à 40 espèces sur des superficies de 10 à 15 ha, de 60 à 70 espèces sur 400 à 600 ha, de 80 à 90 espèces sur 10000 ha.

Relations richesse / milieu

Une régression linéaire multiple entre la richesse en espèces d'un échantillon-IPA et les paramètres de structure est réalisée (Tableau X). Elle permet de mesurer l'effet sur la richesse de chacun des paramètres structurels, après soustraction de tous les autres.

La richesse avifaunistique est corrélée positivement au diamètre de l'arbre le plus gros de la placette**, et négativement à la fois à la couverture arborescente*** et à la couverture arbustive*. **En milieu rhénan, une forêt ayant un aspect de « parc urbain », avec de gros arbres espacés surplombant une strate arbustive peu fournie, présente une diversité maximale.**

Les estimation de recouvrement ne distinguent pas un point situé dans une forêt présentant 50 % de couverture arborescente uniformément répartie, ou un point situé en lisière d'une forêt complètement fermée et d'un milieu totalement sans arbres (bras d'eau ou ouverture de chablis par exemple). Ces conclusions s'appliquent donc également aux lisières.

Une autre régression linéaire relie la richesse et les principales essences constitutives de la forêt rhénane (CHE, ERA, FRE, Pcult, Pgris, Pnoir, TIL). Aucune relation n'est mise en évidence. **La richesse en espèces d'oiseaux n'est pas dépendante des essences en forêt rhénane.**

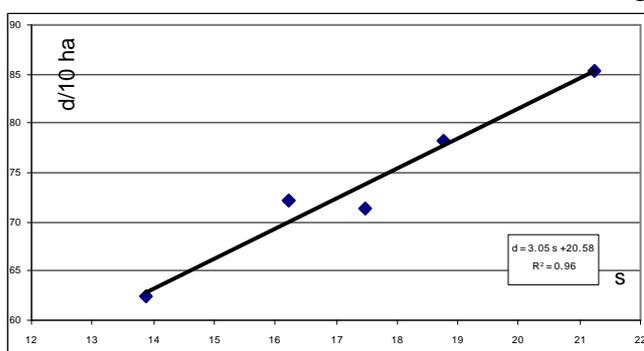


Figure 10 – Densité aux 10 ha (en ordonnées) en fonction de la richesse par relevé (en abscisses) en forêt rhénane

En revanche, une très bonne corrélation peut être observée entre richesse au point (nombre d'espèces nicheuses) et densité aux 10 ha ($R^2 = 0,96$). Les 10 % de points les moins riches en espèces présentent avec cette méthode une densité de 60 couples / 10 ha, et les 10 % les plus riches présentent une densité de 89

couples / 10 ha, soit près de 50 % de couples nicheurs en plus.

La relation entre diversité et densité étant établie, les forêts rhénanes à l'aspect de « parc urbain » présentent également de fortes densités en oiseaux.

Les gradients d'avifaune

Une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée après avoir retiré les 5 espèces de rapaces notées dans les IPA ainsi que le Héron cendré, espèces généralement rencontrées en vol et non obligatoirement liées au milieu survolé. Restent alors 63 espèces (Figure 11). Les trois premiers axes de l'analyse retiennent respectivement 6, 5 et 5 % de la variabilité avifaunistique. Les espèces se disposent « en croissant » dans le plan F1-F2,

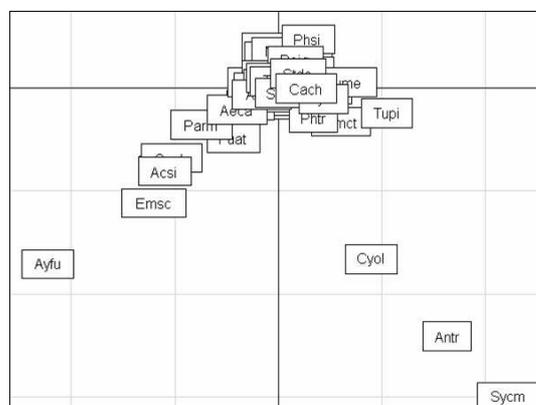


Figure 11 : AFC sur les espèces d'oiseaux en forêt rhénane. Plan F1 F2.

avec un pôle d'« espèces de milieux ouverts » (Fauvette grisette, Pipit des arbres ...) et un pôle d'« oiseaux d'eau » *lato sensu* (Fuligule morillon, Bruant des roseaux ...). A noter que le Cygne tuberculé est regroupé avec les espèces de milieux ouverts, car il ne se rencontre que sur les surfaces en eau étendues.

Le premier axe d'étirement du nuage de points correspond au gradient milieux humides / milieux secs, le second correspond à l'ouverture des peuplements.

Les oiseaux d'eau *stricto sensu*, non strictement forestiers, sont ensuite retirés pour une seconde analyse (restent 54 espèces). Les trois premiers axes emportent encore 6, 5 et 5 % de la variabilité (Figure 12). L'analyse dispose toujours les espèces en croissant, le gradient sec / humide est encore le critère principal d'ordination. Les deux branches éloignent cette fois les espèces de roselières / saulaies (Bruant des roseaux, Rousserolle effarvatte, Mésange boréale) des espèces liées aux lisières ou aux ouvertures intra forestières plus sèches (Fauvette grisette, Pipit des arbres, Grive litorne, Rossignol philomèle ...).

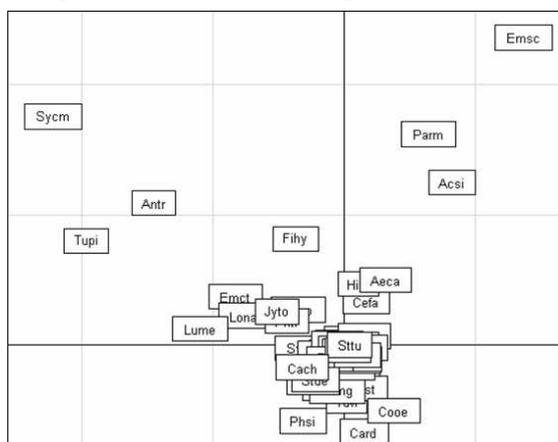


Figure 12 – Seconde AFC sur les espèces d'oiseaux en forêt rhénane, sans les oiseaux d'eau. Plan F1 F2.

En première conclusion, on peut dire que **le principal gradient avifaunistique en forêt rhénane oppose la présence de milieux humides, bras en eau ou roselières, aux milieux plus secs. L'existence de larges ouvertures est le second facteur de variabilité.**

Relations gradients d'avifaune / gradients de structure

Une AFCVI espèces d'oiseaux / structure des forêts rhénanes est réalisée, sans les rapaces ni les oiseaux d'eau (Figures 13 et 14). Les trois premiers axes emportent 39, 17 et 12 % de la variabilité. Le rapport des traces AFCVI / AFC est de 0,100. Le premier facteur de différenciation des avifaunes en forêt rhénane est la présence de phragmites. Viennent ensuite la surface terrière totale et la couverture arborescente (corrélées entre

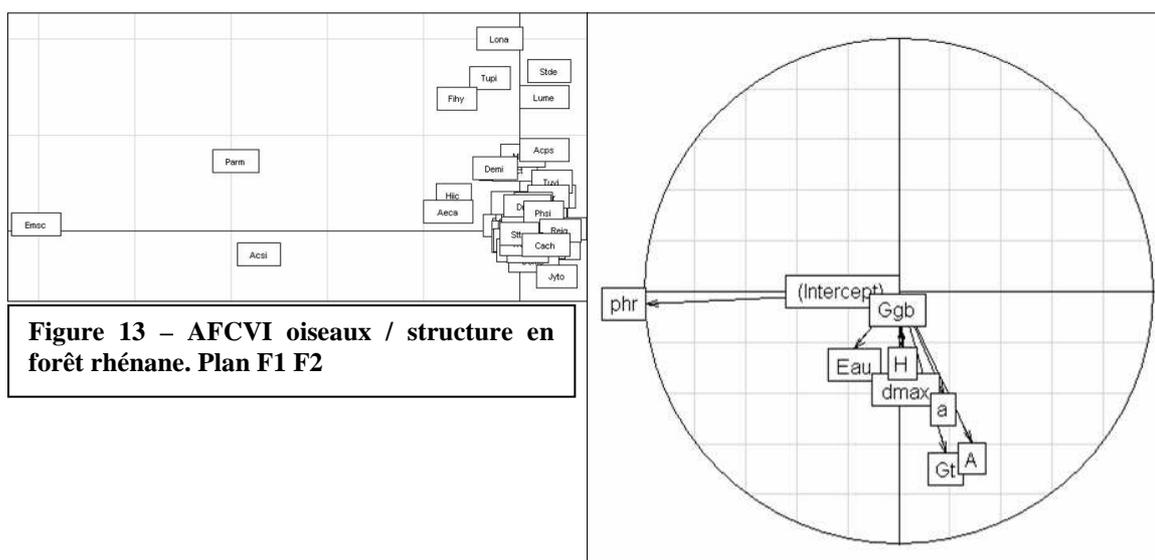
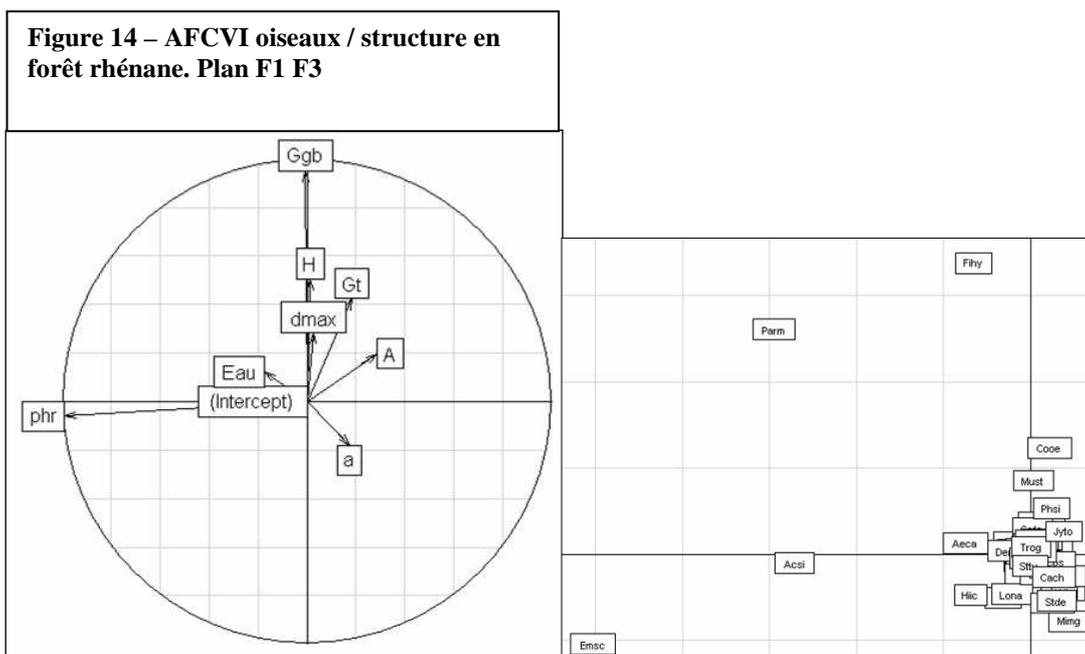


Figure 13 – AFCVI oiseaux / structure en forêt rhénane. Plan F1 F2

elles) puis la couverture arbustive. Enfin (axe 3) la surface terrière en gros bois et la hauteur du peuplement.

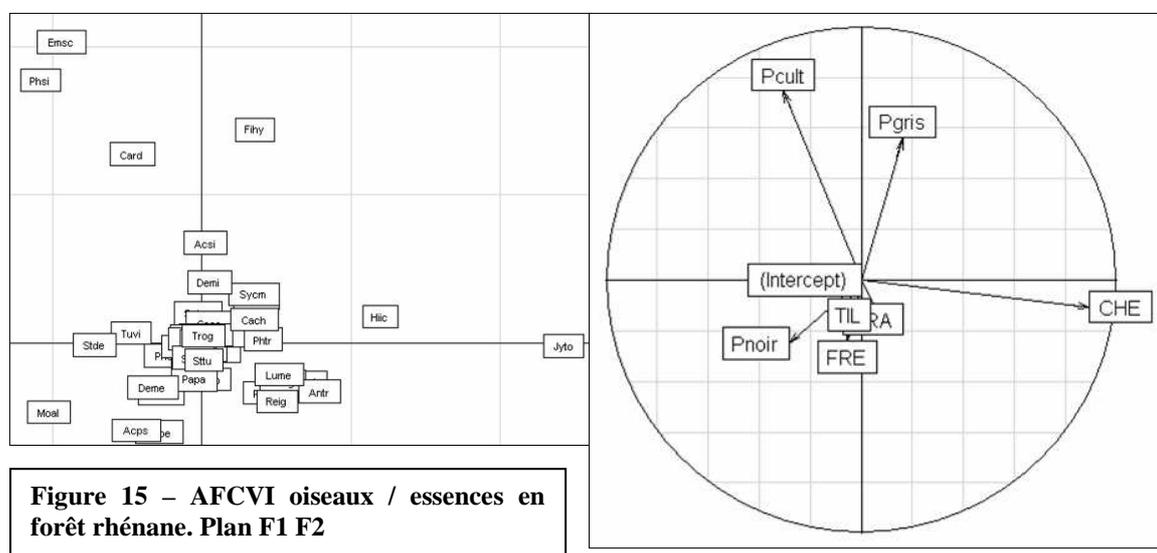


La même analyse en rajoutant les oiseaux d'eau donne simplement une plus grande importance à la présence de bras d'eau, sans modifier le schéma ci-dessus.

La présence de milieux humides est un critère important de différenciation de l'avifaune rhénane. Le second critère déterminant les gradients est l'ouverture des peuplements (corrélée à la surface terrière totale), puis la strate arbustive, enfin la taille des arbres.

Relations gradients d'avifaune / gradients d'essences

Une AFCVI oiseaux / essences est menée, toujours sans les rapaces et les oiseaux d'eau (Figures 15 et 16). Les trois premiers axes représentent respectivement 22, 22 et 18 % de la variabilité. Le rapport des traces est de 0,042. Le Chêne est la première essence à différencier les avifaunes, puis les Peupliers de culture et grisard, suivis par le Frêne.



On notera que les principales essences conduisant à différencier les avifaunes sont des essences pionnières à feuillage clair, pour lesquelles d'une part l'importance de la couverture arborescente joue un rôle primordial et d'autre part, qui permettent le développement d'une strate arbustive fournie. On retrouve ici l'importance de la structuration de la végétation, plus que de l'essence elle-même.

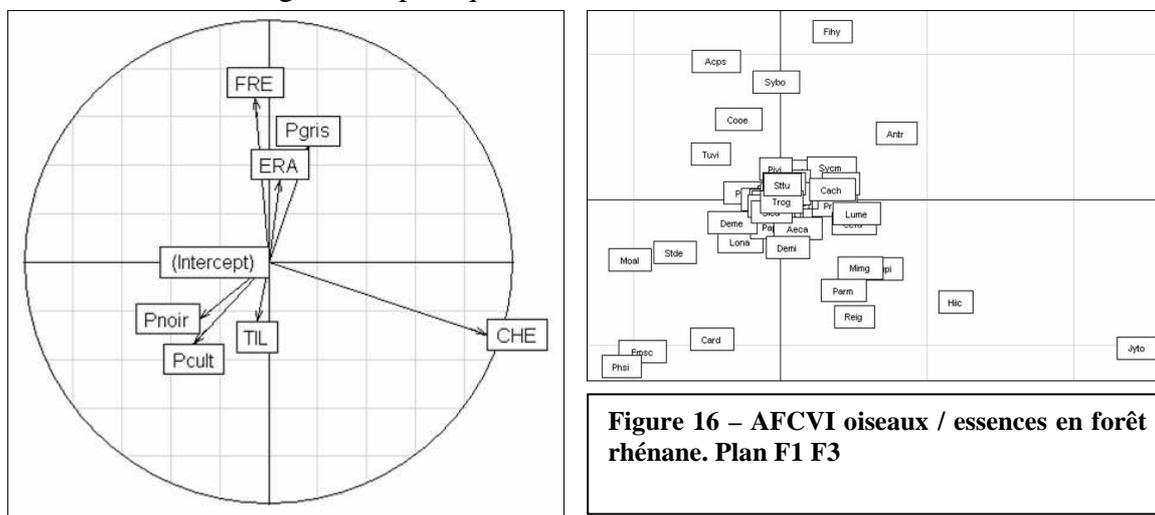


Figure 16 – AFCVI oiseaux / essences en forêt rhénane. Plan F1 F3

Relations gradients d'avifaune / gradients de topographie

Une AFC sous contrainte linéaire nous montre que (Figure 17) la position sur le gradient Sud-Nord d'une part, la superficie des massifs forestiers et la distance à la lisière d'autre part, contribuent à la différenciation des avifaunes.

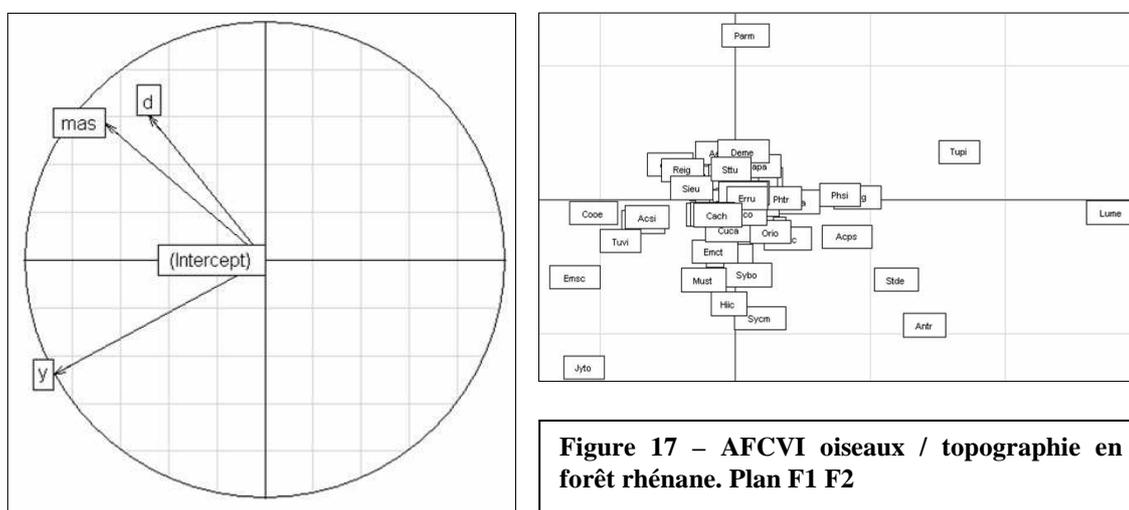


Figure 17 – AFCVI oiseaux / topographie en forêt rhénane. Plan F1 F2

En résumé, les gradients d'avifaune en forêt rhénane sont dépendants :

- du gradient milieux humides / milieux secs ;
- de l'ouverture des frondaisons ;
- du recouvrement de la strate arbustive ;
- puis de la taille des arbres.

La présence des chênes et des peupliers, et la position géographique (Nord-Sud, taille du massif), sont secondaires.

5. L'AVIFAUNE FORESTIERE RHENANE DANS SON CONTEXTE REGIONAL

L'avifaune nicheuse des forêts rhénanes n'est pas isolée de celle des autres massifs forestiers de la plaine alsatico-badoise. Il convient de porter un regard sur l'avifaune forestière de la plaine dans son ensemble, afin de mettre à jour d'éventuelles caractéristiques particulières (de composition des avifaunes, de diversité, de densité ...). Dans une logique de raisonnement « emboîté », les analyses réalisées pour la forêt rhénane et son avifaune sont reconduites cette fois avec l'ensemble des relevés de la plaine d'Alsace (y compris les relevés rhénans). Les principales caractéristiques de chacune des quatre régions naturelles étudiées sont précisées.

5.1. LES FORETS DE LA PLAINE D'ALSACE

5.1.1. CARACTERISTIQUES MOYENNES DU MILIEU ETUDIE

Topographie et hydrologie

L'altitude moyenne de l'ensemble des points étudiés dans les forêts de la plaine est de 175 mètres ; celle-ci varie de 220 mètres en moyenne dans la région de la Hardt au Sud à 145 mètres sur le massif de Haguenau au Nord (Tableau XI). Ces points sont situés dans des massifs de 6600 ha en moyenne, mais la disparité est grande : les massifs alluviaux ont une superficie moyenne de 1500 ha, l'important massif de la Hardt est bordé au Nord de petites forêts (la moyenne tombe alors à 7100 ha), et l'immense massif de Haguenau couvre (presque seul) plus de 20000 ha. La distance à la lisière externe est en moyenne de 810 mètres, distance également très variable parallèlement à la taille des massifs : de 2400 mètres à Haguenau à à peine plus de 250 mètres en forêts alluviales, en passant par 750 mètres dans la Hardt. La profondeur de la nappe varie également (8,4 mètres en moyenne) : de 2 à 3,5 mètres en forêts rhénane ou ellane, elle est de 13,5 mètres dans la Hardt (le plus souvent inaccessible aux racines des arbres donc) et de plus de 20 mètres à Haguenau (certaines zones limitées de ce massif sont par contre très mouilleuses, paratourbeuses même, mais sans relation avec la nappe phréatique du fossé d'effondrement).

Les essences

Globalement le Chêne domine largement les forêts de la plaine alsacienne étudiées avec 29 % de la surface terrière. Il est suivi du Frêne 13 % et du Charme 10 %.

Une chênaie-frênaie très mélangée (ces deux essences constituant 36 % de la surface terrière totale) représente, on l'a vu, l'essentiel de la forêt rhénane. Les forêts de la Hardt, bien différentes, sont constituées à 86 % d'une chênaie-charmaie (la forte fréquence de ces deux essences les distinguent significativement des autres massifs forestiers – le Tableau XII présente les différences statistiquement significatives, mises en évidence par des ANOVAs suivies de tests de Tukey). Les forêts de l'III, alluviales, sont mélangées : le Frêne y domine avec près de 30 % de la surface terrière, mais le Chêne (18 %), le Charme (14 %) et les érables (14 %) sont bien représentés. Ces quatre essences totalisent plus de

75 % du volume. Les érables et le Frêne y présentent des surfaces terrières statistiquement plus importantes que dans les autres régions. Enfin l'immense massif de Haguenau, et ses forêts satellites, est original en plaine d'Alsace : le Hêtre et le Chêne y dominent avec 27 % du volume chacun et le Pin sylvestre n'est pas rare avec 19 % (Hêtre et Pin sylvestre sont quasiment absents du reste de la plaine, alors qu'ils présentent ici une abondance significativement supérieure). Ces trois essences représentent 72 % de la surface terrière totale.

La structure forestière

Globalement dans les forêts de la plaine alsacienne, la surface terrière est de 15 m²/ha, dont 19 % de gros bois. La hauteur moyenne de la canopée est de 24 mètres, le diamètre moyen du plus gros arbre des placettes étudiées est de 60 centimètres. La couverture arborescente moyenne est de 58 %, la couverture arbustive de 60 %. Les bras d'eau représentent 1,5 % des superficies étudiées, les roselières un peu moins de 1 %.

Les conditions stationnelles liées à l'histoire locale conduisent à une sylviculture différenciée selon les régions naturelles : la futaie irrégulière est la règle en forêt alluviale (futaie ouverte en forêt rhénane, futaie fermée en forêt ellane), alors que la futaie régulière est développée sur les massifs de la Hardt et de Haguenau. Mais si les coupes de grandes superficies sont abandonnées en chênaie-charmaie de la Hardt, elles subsistent en pinède sur Haguenau. L'ouragan Lothar de décembre 1999 a également grandement participé à l'ouverture des forêts. De ce fait, les différents stades forestiers de la sylviculture en futaie dite régulière sont bien représentés sur le massif de Haguenau (semis, fourré et gaulis regroupent près de 20 % des superficies étudiées), alors qu'ils se rencontrent de manière négligeable dans les autres massifs. Localement dans la Hardt, la sylviculture du Charme en taillis est encore rencontrée (1 % des superficies étudiées).

La région naturelle de la Hardt est soumise à la fois à la sécheresse climatique (surtout sa partie septentrionale) et à la xéricité du sol. Les forêts sont basses (16 mètres de hauteur moyenne, souvent 10 à 12 mètres seulement dans la partie Nord, différence statistiquement significative), avec très peu de gros bois (moins de 5 % de la surface terrière ; le plus gros diamètre de la placette est en moyenne de 43 centimètres, la différence avec les autres régions est statistiquement significative). La couverture arborescente est claire (54 %) surtout dans la zone la plus sèche où les forêts sont très ouvertes, la couverture arbustive est souvent recouvrante (68 % en moyenne). Eau libre et phragmites n'existent que de manière très anecdotique dans ces forêts sèches. Les forêts fermées de l'Ill (couverture arborescente moyenne de 73 %, différence statistiquement significative) portent souvent de grands et gros arbres (29 mètres de hauteur moyenne, plus gros diamètre moyen de 71 centimètres). La surface terrière y est ainsi maximale en plaine d'Alsace (19 m²/ha), avec près d'un quart de gros bois. La présence de la strate arbustive est contrainte par la fermeture des peuplements (49 % seulement). L'eau libre est présente, mais assez rare finalement (8 % des superficies étudiées). Enfin, les forêts du massif de Haguenau portent un important volume de bois (17 m²/ha de surface terrière) avec beaucoup de gros arbres (27 % de gros bois) de bonne hauteur (26 mètres en moyenne). Les forêts souvent assez fermées présentent de nombreuses ouvertures dues à la sylviculture, la moyenne du recouvrement de la strate arborée n'est que de 56 %. La strate arbustive y est rare (38 %, différence statistiquement significative). Comme dans la Hardt, la présence des cours d'eau et des roselières est excessivement limitée.

Tableau XI - Caractéristiques forestières moyennes des régions naturelles de la plaine d'Alsace d'après les placettes étudiées

	Rhin	Hardt	Ill	Haguenu	plaine hors Rhin	global plaine
variables structurelles						
surface terrière totale (en m²)	13.6	12.1	18.9	17.4	16.2	15.2
surface terrière en gros bois (en m²)	2.3	0.5	4.5	4.3	3.2	2.8
pourcentage de gros bois	19.4	4.5	24.2	27.2	18.8	19.1
diamètre maximum (en cm)	64.7	43.4	70.8	57.3	57.4	60.3
hauteur du peuplement (en m)	25.0	15.8	28.9	26.2	23.8	24.3
couverture arborescente (en dixièmes)	5.3	5.4	7.3	5.6	6.1	5.8
couverture arbustive (en dixièmes)	7.2	6.8	4.9	3.8	5.1	6.0
bras en eau (en dixièmes)	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
phragmitaies (en dixièmes)	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
essences (en m² de surface terrière)						
Aulne glutineux	0.2	0.0	1.7	0.6	0.7	0.5
Bouleau verruqueux	0.3	0.0	0.0	0.6	0.2	0.3
Charme	0.4	3.0	2.6	1.5	2.5	1.6
chênes	2.7	7.3	3.5	4.6	5.6	4.4
érables	1.2	0.3	2.6	0.0	0.9	1.0
Frêne commun	2.2	0.0	5.6	0.3	1.7	1.9
Hêtre	0.2	0.0	0.1	4.8	1.6	1.0
Merisier	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1
Peuplier de culture	1.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.6
Peuplier "grisard"	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Peuplier noir	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
saules	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Tilleul	0.8	0.3	0.2	0.0	0.2	0.5
autres feuillus	1.4	0.4	1.1	0.3	0.6	1.0
Pin sylvestre	0.2	0.6	0.0	3.2	1.3	0.8
autres résineux	0.1	0.0	0.2	0.5	0.2	0.2
variables topographiques						
longitude (Lambert II étendu)	997342	983200	976672	1004095	988458	992065
latitude (Lambert II étendu)	2383623	2331454	2358638	2442629	2379805	2381355
altitude (m)	161	218	190	146	183	174
superficie du massif (100 ha)	15.5	71.2	15.9	205.5	100.6	66.1
distance à la lisière (100 m)	2.6	7.5	2.7	24.2	11.9	8.1
profondeur de la nappe (m)	2.3	13.5	3.4	20.3	12.6	8.4

Tableau XII - Différences statistiquement significatives sur les variables entre régions de la plaine d'Alsace (ANOVAS suivies de tests de Tukey)

	hardt-hag	ill-hag	rhin-hag	ill-hardt	rhin-hardt	rhin-ill
surface terrière totale	***		***	***		***
surface terrière en gros bois	***		***	***	**	***
pourcentage de gros bois	***	***		***	***	
diamètre maximum	***			***	***	***
hauteur du peuplement		***		***		***
couverture arborescente	***	**	***	***		***
couverture arbustive			***		***	**
bras en eau			***		**	***
phragmitaies		***		***		***
Bouleau verruqueux		*				
Charme	***			***	***	***
chênes	***			***	***	
érables		***	***	***	**	*
Frêne commun		***	***	***	***	***
Hêtre	***	***	***			
Merisier						
Peuplier de culture			***		***	**
Peuplier "grisard"			***		***	***
Peuplier noir			***		***	***
saules			***		**	**
Tilleul			***			**
Pin sylvestre	***	**	***			
longitude	***	***	***	***	***	***
latitude	***	***	***	***	***	***
altitude	***	***	***	***	***	***
superficie du massif	***	***	***	***	***	***
distance à la lisière	***	***	***	***	***	***
profondeur de la nappe (en log)	***	***	***	***	***	***

5.1.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE DU MILIEU

Comme en forêt rhénane, mais cette fois à l'échelle régionale, il est important de comprendre la variabilité du milieu avant de se pencher sur les relations de l'avifaune avec celui-ci. Quelles variables expliquent au mieux la variabilité du milieu dans l'ensemble des forêts de la plaine alsacienne ? Les relevés des forêts rhénanes sont intégrés à l'analyse.

Variables structurelles

Les mêmes douze variables que pour l'étude des forêts rhénanes sont prises en considération. Aucune corrélation forte n'est mise en évidence entre ces variables. Un coefficient de corrélation supérieur à 0,6 existe cependant entre la surface terrière totale et la couverture arborescente, comme en forêt rhénane, ainsi qu'entre le diamètre maximum mesuré sur la placette et la hauteur du peuplement. Une Analyse en Composantes Principales est réalisée sur les variables structurelles de l'ensemble des forêts de plaine (Figures 18 et 19). Le premier axe emporte une large majorité de la variabilité (37 %), les seconds et troisièmes respectivement 22 et 12 %. Le cercle des corrélations montre un gradient principal traduisant le volume de la végétation (couverture arborescente et

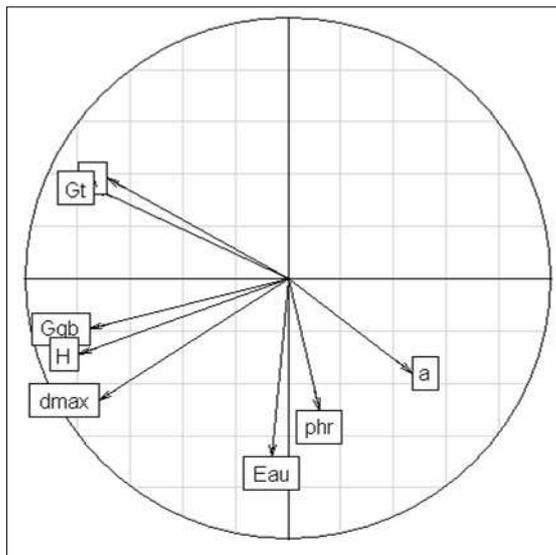


Figure 18 – Cercle des corrélations issu de l'ACP sur les variables structurelles en forêts alsaciennes de plaine. Plan F1 F2.

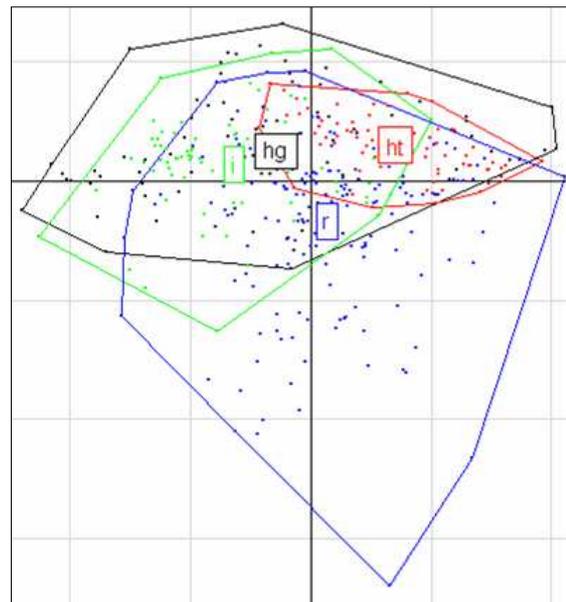


Figure 19 – Polygones convexes groupant les relevés par régions forestières de la plaine d'Alsace issu de l'ACP sur les variables structurelles. Plan F1 F2.

surface terrière totale). Sur le deuxième axe, deux facteurs secondaires semblent à la fois indépendants du premier, et non corrélés entre eux. Il s'agit d'une part de la taille des arbres : hauteur du peuplement, diamètre maximal mesuré sur la placette, surface terrière en gros bois, et d'autre part de la présence d'eau. Au contraire de ce que l'on a constaté en forêt rhénane, la présence d'eau est mal corrélée à la taille des arbres. Le troisième axe de l'ACP, non représenté, isole d'un côté la présence de phragmites, de l'autre la couverture arbustive. Hormis l'influence des bras d'eau, la variabilité structurelle des forêts au

niveau régional répond dans les grandes lignes aux mêmes différenciations qu'au niveau rhénan.

Les polygones convexes regroupant les points par région sont représentés dans le plan factoriel issu de l'ACP précédente. On voit que si la forêt rhénane est la seule à montrer une certaine originalité structurale sur le plan F1 F2 (il en est de même du plan F1 F3) surtout à cause de la présence de l'eau libre, une proportion non négligeable de ses points ne s'individualisent pas de ceux des autres régions.

Topographie

L'étude statistique des données topographiques entre les quatre régions naturelles de la plaine alsacienne n'est pas d'un grand apport. La simple lecture de la carte permet de visualiser l'étalement Sud-Nord, donc également altitudinal, des différentes régions. De très bonnes corrélations (coefficients de corrélation supérieurs ou égaux à 0,9) existent entre latitude, longitude et altitude. Une tendance à la corrélation négative (coefficient de corrélation supérieur à 0,6) existe entre latitude et profondeur de la nappe. L'ACP montre que le premier facteur de différenciation est constitué par la position géographique, le second par l'étendue des massifs, le troisième par la profondeur de la nappe phréatique.

Essences

Les « autres résineux » et « autres feuillus » sont exclus de l'analyse pour leur manque de pertinence, ainsi que le Merisier qui présente une faible occurrence et aucune



Figure 20 – AFC sur essences en forêts alsaciennes de plaine. Plan F1 F2

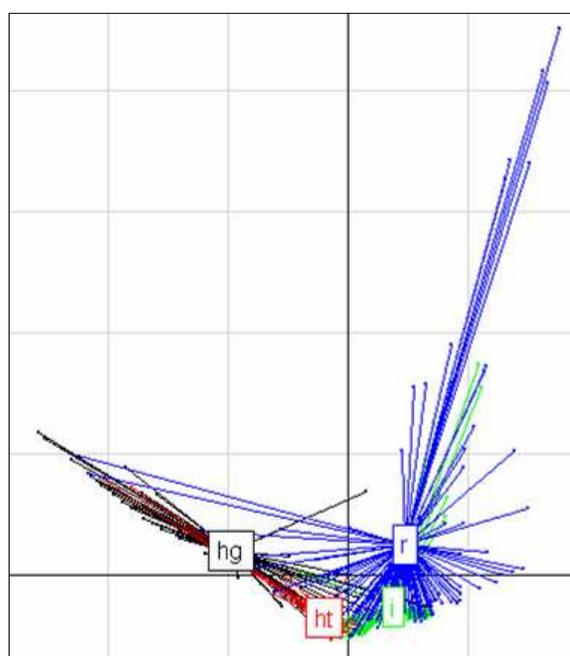


Figure 21 – Etoiles reliant les relevés par région à leur centre de gravité dans le plan factoriel issu de l'ACP sur essences en forêts de plaine d'Alsace. Plan F1 F2.

différence statistiquement significative entre régions. Les treize autres essences ne sont pas corrélées entre elles de façon évidente. L'Analyse Factorielle des Correspondances

(Figures 20 et 21) isole sur le premier axe (13 % de la variabilité) le Hêtre et le Pin sylvestre, tous deux représentants quasi exclusifs du massif de Haguenau. Cet axe principal correspond au gradient d'humidité, puisque d'un côté ces deux essences recherchent les milieux exempts d'eau stagnante, tandis qu'à l'autre extrémité se trouvent les essences de milieux humides (Peuplier de culture, Saule, Peuplier grisard, Frêne – avec la même remarque qu'en forêt rhénane pour le Peuplier noir). Le second axe (12 %) isole le Peuplier de culture, dont les peuplements monospécifiques se trouvent mis en évidence. Cet axe 2 semble séparer d'ailleurs les essences généralement rencontrées en peuplements « purs » (en tous cas pauvres en essences secondaires) tels que, outre le Peuplier de culture, le Pin sylvestre, le Hêtre, le Saule, le Bouleau. Le troisième axe (11 %) détache les trois espèces de peupliers : d'un côté les Peupliers grisard et noir, accompagnés du Saule, de l'autre le Peuplier de culture.

En terme d'essences, les forêts de la plaine alsacienne se différencient essentiellement par la présence (ou l'absence) de Hêtre et de Pin sylvestre, puis par la présence (ou l'absence) des différentes espèces de peupliers et de Saule. Des étoiles reliant les points de chaque région de la plaine à partir de leur centre de gravité sur le plan factoriel issu de l'AFC montre que les forêts rhénanes et de Haguenau se différencient en partie seulement des autres régions en terme d'essences.

Relations entre les gradients d'essences et de structure

L'étude des relations entre gradients de structure et gradients d'essences dans les forêts de la plaine d'Alsace est entreprise à l'aide d'une AFCVI. Les trois premiers axes (Figures 22 et 23) emportent la quasi totalité de la variabilité (respectivement 37, 26 et 19 %). 12,4 % de la variabilité des essences est définie par les variables structurelles introduites dans l'analyse (rapport des traces AFCVI/AFC). L'AFCVI extrait 10,4 % de variabilité supplémentaire par rapport à l'AFC initiale.

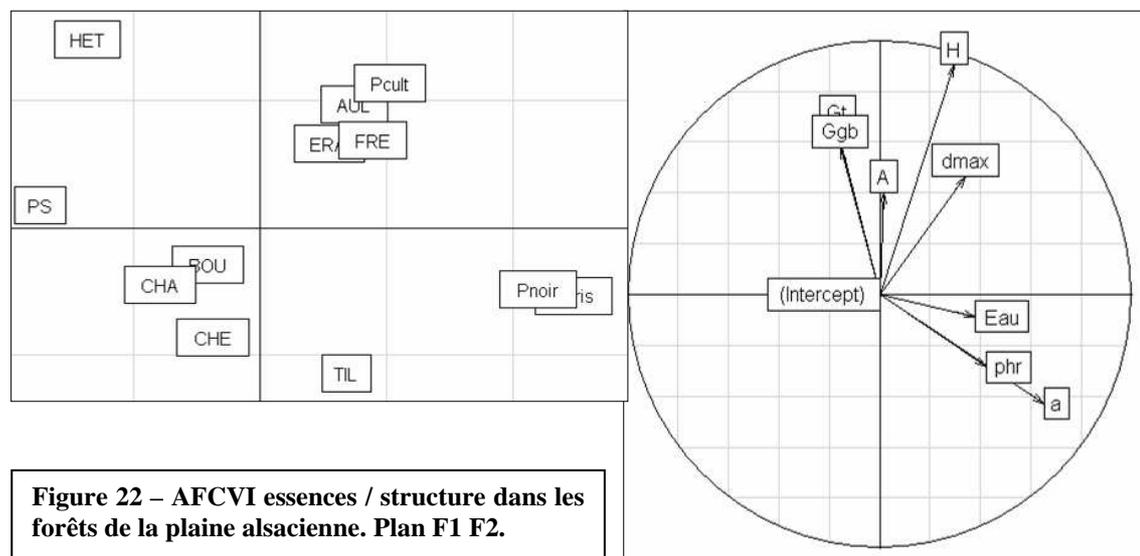
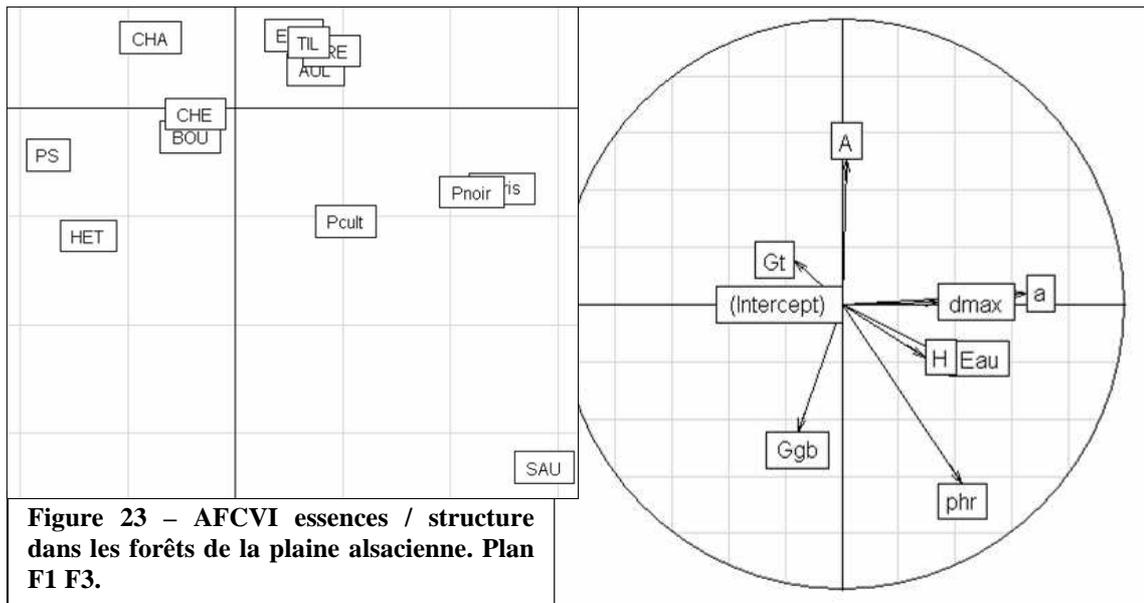


Figure 22 – AFCVI essences / structure dans les forêts de la plaine alsacienne. Plan F1 F2.

Les variables expliquant au mieux la variabilité en essences sont par ordre décroissant la couverture arbustive, la hauteur du peuplement, les surfaces terrières totale et en gros bois, la présence de bras d'eau et de phragmites, et la couverture arborescente.



5.2. L'AVIFAUNE FORESTIERE EN PLAINE D'ALSACE

5.2.1. LES ESPECES ET LEURS ABONDANCES

Fréquences

Les espèces (quasi-) omniprésentes dans les IPA, de **fréquence** supérieure ou égale à 90 % (Tableau XIII), sont pour l'ensemble des forêts de la plaine la Fauvette à tête noire (97 %), la Mésange charbonnière (95 %), le Pinson des arbres (94 %) et le Merle noir (93 %). D'autres espèces peuvent être omniprésentes dans une ou plusieurs régions naturelles de la plaine : le Pic épeiche (63 à 97 %), le Pouillot véloce (72 à 97 %), le Pigeon ramier (71 à 96 %), le Rougegorge familier (78 à 93 %) et le Troglodyte mignon (43 à 96 %). Parmi les espèces nicheuses plus fréquentes (d'un facteur 1,5 voire plus) en forêts rhénanes que dans les autres forêts de la plaine d'Alsace se rencontrent logiquement des oiseaux d'eau *lato sensu* (Canard colvert, Cygne tuberculé, Foulque macroule, Martin-Pêcheur d'Europe, Milan noir, Rousserolle effarvate), et des espèces de milieux ouverts ou de lisière (Hypolaïs icterine, Mésange à longue queue, Rousserolle verderolle, Verdier d'Europe, ainsi que les Pics vert et épeichette, et le Gobemouche gris).

Densités

Les densités de 81 espèces ont été quantifiées de façon absolue sur quadrat en comprenant celles recensées sur de grandes superficies. Les quadrats n'étant pas en nombre équivalent dans chacune des régions naturelles (Tableau XIV), des comparaisons inter-régions ne sont pas possibles sur cette base. On peut noter cependant que trois espèces ont dépassé une densité de plus de 15 couples / 10 ha dans l'un ou l'autre quadrat : il s'agit de la Fauvette à tête noire et du Pinson des arbres en forêt rhénane et de l'Etourneau sansonnet dans les forêts de l'III. Les densités de trois autres espèces ont été mesurées à plus d'un couple par ha : Pouillot véloce, Mésanges charbonnière et bleue, toujours en forêt rhénane.

Tableau XIII - Fréquence dans les IPA des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne

	Rhin	Hardt	Ill	Haguenu	plaine hors Rhin	global plaine
N	162	75	78	84	237	pondéré
accenteur mouchet	17.9	37.3	2.6	25.0	21.5	21.2
alouette des champs	0.0	2.7	1.3	0.0	1.3	1.0
autour des Palombes	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3
bergeronnette grise	1.9	0.0	1.3	2.4	1.3	1.4
bouvreuil pivoine	0.0	0.0	0.0	2.4	0.8	0.8
bruant des roseaux	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
bruant jaune	13.6	46.7	12.8	9.5	22.4	20.1
busard des roseaux	0.6	1.3	0.0	0.0	0.4	0.4
busard Saint-Martin	0.0	0.0	1.3	0.0	0.4	0.3
buse variable	6.2	16.0	15.4	4.8	11.8	10.4
canard chipeau	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
canard colvert	16.0	6.7	9.0	2.4	5.9	7.1
chardonneret élégant	0.6	0.0	0.0	1.2	0.4	0.5
choucas des tours	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
corneille noire	90.7	86.7	83.3	41.7	69.6	70.6
coucou gris	56.2	73.3	35.9	85.7	65.4	65.6
cygne tuberculé	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
épervier d'Europe	0.6	2.7	3.8	1.2	2.5	2.1
étourneau sansonnet	56.2	28.0	83.3	27.4	46.0	46.1
faisan de Colchide	21.6	54.7	16.7	4.8	24.5	22.5
faucon crécerelle	1.2	1.3	1.3	2.4	1.7	1.7
faucon hobereau	0.0	1.3	0.0	1.2	0.8	0.7
faucon pèlerin	0.6	1.3	0.0	0.0	0.4	0.4
fauvette à tête noire	98.1	100.0	97.4	91.7	96.2	96.1
fauvette des jardins	9.9	10.7	3.8	13.1	9.3	9.7
fauvette grisette	1.2	6.7	2.6	0.0	3.0	2.5
foulque macroule	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
fuligule morillon	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
gallinule poule d'eau	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
geai des chênes	50.0	77.3	52.6	66.7	65.4	63.2
gobemouche gris	2.5	0.0	0.0	1.2	0.4	0.8
gobemouche noir	1.9	0.0	6.4	23.8	10.5	10.3
goéland leucophée	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
grand cormoran	8.0	1.3	0.0	0.0	0.4	1.5
grèbe castagneux	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
grimpereau des bois	3.7	8.0	3.8	16.7	9.7	9.3
grimpereau des jardins	50.6	25.3	80.8	29.8	45.1	44.8
grive draine	1.9	0.0	7.7	13.1	7.2	6.8
grive litorne	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
grive mauvis	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
grive musicienne	89.5	69.3	67.9	60.7	65.8	69.0
grosbec casse-noyaux	16.7	28.0	16.7	39.3	28.3	27.4
héron cendré	4.9	0.0	11.5	0.0	3.8	3.7
hirondelle de fenêtre	1.2	1.3	0.0	0.0	0.4	0.5
hirondelle rustique	6.2	4.0	1.3	2.4	2.5	3.1

huppe fasciée	0.0	1.3	0.0	0.0	0.4	0.3
hypolais ictérine	1.9	1.3	0.0	0.0	0.4	0.6
locustelle tachetée	1.9	9.3	1.3	2.4	4.2	3.7
loriot d'Europe	37.7	30.7	38.5	22.6	30.4	30.9
martinet noir	15.4	5.3	7.7	15.5	9.7	11.0
martin-pêcheur d'Europe	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
merle noir	96.3	94.7	80.8	97.6	91.1	92.4
mésange à longue queue	13.0	8.0	3.8	2.4	4.6	5.7
mésange bleue	51.9	40.0	73.1	48.8	54.0	53.3
mésange boréale	0.6	1.3	0.0	0.0	0.4	0.4
mésange charbonnière	96.9	92.0	97.4	92.9	94.1	94.4
mésange huppée	0.0	1.3	0.0	11.9	4.6	4.5
mésange noire	0.0	1.3	0.0	27.4	10.1	9.9
mésange nonnette	29.6	21.3	25.6	38.1	28.7	29.6
milan noir	3.1	1.3	0.0	1.2	0.8	1.2
mouette rieuse	16.7	0.0	1.3	0.0	0.4	2.8
pic cendré	0.0	0.0	2.6	11.9	5.1	4.8
pic épeiche	92.6	62.7	97.4	95.2	85.7	87.4
pic épeichette	8.0	4.0	6.4	4.8	5.1	5.5
pic mar	14.8	5.3	20.5	22.6	16.5	16.7
pic noir	10.5	18.7	11.5	27.4	19.4	18.7
pic vert	32.1	17.3	30.8	15.5	21.1	22.3
pie-grièche écorcheur	0.0	0.0	0.0	2.4	0.8	0.8
pigeon colombin	1.9	0.0	3.8	13.1	5.9	5.9
pigeon ramier	90.1	88.0	70.5	96.4	85.2	86.8
pinson des arbres	96.3	81.3	96.2	98.8	92.4	93.5
pipit des arbres	1.2	5.3	2.6	28.6	12.7	12.2
pouillot fitis	25.9	66.7	10.3	59.5	45.6	43.7
pouillot siffleur	1.2	5.3	0.0	20.2	8.9	8.6
pouillot véloce	96.3	97.3	71.8	86.9	85.2	87.0
roitelet huppé	0.0	0.0	0.0	10.7	3.8	3.8
roitelet triple-bandeau	3.1	1.3	1.3	14.3	5.9	6.1
rossignol philomèle	3.7	45.3	9.0	0.0	17.3	13.9
rouge-gorge familier	78.4	80.0	78.2	92.9	84.0	83.8
rougequeue noir	0.0	1.3	1.3	0.0	0.8	0.7
rousserolle effarvatte	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
rousserolle verderolle	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
sittelle torchepot	66.7	49.3	85.9	76.2	70.9	70.7
tarier pâtre	0.0	0.0	0.0	2.4	0.8	0.8
tarin des aulnes	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
torcol fourmilier	1.2	8.0	0.0	9.5	5.9	5.5
tourterelle des bois	51.9	54.7	14.1	46.4	38.4	41.0
tourterelle turque	1.2	6.7	1.3	0.0	2.5	2.1
troglydte mignon	84.6	42.7	96.2	86.9	75.9	78.1
vanneau huppé	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
verdier d'Europe	8.0	4.0	3.8	0.0	2.5	3.2

en gris : espèces non nicheuses

**Tableau XIV - Densités aux 10 ha mesurées par l'auteur
dans les quadrats en forêts de plaine alsacienne**

	forêts rhénanes							hardt	forêts de l'III			haguenau		
	LW	iM	iM-a	iM-b	M B	HR	MS	LW	D	SC-1	SC-2	NW	Hg m	Hg r
superficie (ha)	14.0	12.8	5.8	7.0	12.0	350	680	520	160	10	10	12.3	1740	209
Grèbe castagneux						0.40	0.19	0.06						
Grèbe huppé							0.05	0.02						
Héron cendré								0.04						
Cygne tuberculé						0.26	0.15	0.17						
Canard colvert	0.7				0.8			0.10						x
Milan noir						0.03								
Busard des roseaux						0.03								
Buse variable	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x
Bondrée apivore						0.03								
Epervier d'Europe	x				x			x		x	x	x	x	
Autour des Palombes									x			x	x	x
Faucon crécerelle													x	
Faucon hobereau						0.03							x	
Faisan de Colchide								x	x					x
Râle d'eau						0.36								
Gallinule Poule d'eau		0.4	0.9					x						
Foulque macroule	0.4							0.17						
Pigeon colombin								0.04				0.4	0.02	0.05
Pigeon ramier	0.4	1.2	1.4	1.0	0.5			0.33	0.25	x	x	1.2	x	x
Tourterelle des bois	0.7	1.6	1.7	1.4	0.7			0.16	0.25	x	x	x	x	x
Coucou gris	x	x	x	x	x			0.14	0.16	x	x	0.4	0.10	x
Chouette hulotte		x	x	x						x	x			
Martin-pêcheur d'Europe					0.4	0.23	0.13	0.02						
Pic noir	x	x	x	x	x			0.02		x	x	x	0.01	x
Pic vert	x	x	x	x	x			0.07	0.13		x	0.4	0.01	x
Pic cendré													0.03	0.02
Pic épeiche	1.4	1.6	1.7	1.4	2.1			0.79	0.16	2.0	3.0	1.2	x	0.53
Pic mar		0.6	1.4		0.5			0.12	x	0.5	1.0	0.8	x	0.07
Pic épeichette		x	x	x	x			0.10		x		x	0.02	0.02
Torcol fourmilier													0.03	0.02
Pipit des arbres									0.25				x	0.15
Bergeronnette grise								0.15					x	
Bergeronnette des ruisseaux														0.02
Troglodyte mignon	2.1	3.1	4.3	2.1	1.3			x		2.5	4.0	5.7	x	x
Accenteur mouchet	0.7	0.6	1.4					0.31	0.38	1.0	0.5		x	0.10
Rouge-gorge familier	2.1	6.3	5.2	7.1	1.3			x	x	3.5	4.0	3.3	x	x
Rosignol philomèle	0.7							0.04	4.63	0.5	0.5			
Rougequeue à front blanc													0.02	0.05
Rougequeue noir								0.04					x	
Tarier pâtre													0.02	
Grive musicienne	1.8	5.1	4.3	5.7	3.3			0.67	0.56	0.5	1.0	1.6	x	x
Grive draine								0.02				x	x	x

Grive litorne												x		
Merle noir	1.4	3.9	5.2	2.9	7.1			x	x	2.0	2.0	1.6	x	x
Fauvette des jardins	1.4							0.19	0.56	1.0			x	
Fauvette à tête noire	11.8	10.5	13.8	7.9	15.8			x	x	12.0	10.0	6.9	x	x
Fauvette grisette	0.7							0.04	0.69					
Locustelle tachetée		0.8		1.4					0.06				0.05	
Rousserolle effarvatte	7.1	2.7	6.0			2.79	0.42	0.54						
Rousserolle verderolle								0.12						
Hypolaïs icterine								0.04						
Pouillot fitis	0.4	0.9		1.6	2.5			x	3.63				x	0.44
Pouillot siffleur								x					x	0.70
Pouillot véloce	9.3	9.4	6.9	11.4	1.7			x	x	5.0	4.0	0.4	x	x
Roitelet huppé													x	
Roitelet à triple bandeau								x					x	x
Gobemouche gris					0.4			0.02						x
Gobemouche noir												0.8	x	0.99
Mésange charbonnière	5.4	9.0	12.1	6.4	9.6			x	x	8.0	6.0	9.8	x	x
Mésange noire													x	x
Mésange bleue	4.3	7.0	10.3	4.3	5.8			x	x	3.0	4.0	4.5	x	x
Mésange huppée													x	x
mésange boréale									0.13					x
Mésange nonnette	2.5	1.6	1.7	1.4	0.8			x		2.0	2.0	0.4	x	x
Mésange à longue queue	0.7	0.8		0.7	0.8			x	x				x	x
Sittelle torchepot	2.1	0.8	0.9	0.7	0.8			x	0.13	3.0	2.0	1.6	x	x
Grimpereau des bois								0.08				0.4	x	0.12
Grimpereau des jardins	1.1	1.4	1.9	1.0	1.3			x	0.06	2.0	3.0	3.7	x	x
Pie-grièche écorcheur									0.09				0.01	
Geai des chênes	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x
Corneille noire	x	x	x	x	x			x	x	x	x	0.8	x	x
Etourneau sansonnet	2.1	4.7	8.1	1.9	6.7			x	x	13.0	12.0	15.5	x	x
Loriot d'Europe	x	0.8	0.9	0.7	1.3			0.19	0.09	x	x	1.2	x	x
Moineau friquet								x						
Pinson des arbres	7.9	5.1	6.9	3.6	15.0			x	x	7.0	8.0	7.3	x	x
Chardonneret élégant	0.7							x					x	
Verdier d'Europe	0.4							0.15						
Bouvreuil pivoine													x	
Grosbec casse-noyaux	0.7	2.0	2.6	1.4	1.7			x		0.5		x	x	x
Bruant des roseaux	0.7					0.49		x						
Bruant jaune	0.7							0.27	0.91	0.5	1.0		x	0.05

nombre d'espèces quantifiées	30	25	22	21	24	10	5	32	19	20	18	23	11	15
densité mesurée	72.4	81.9	99.6	66.0	82.2	4.7	0.9	5.2	13.1	69.5	68.0	69.9	0.3	3.3
nombre total d'espèces	38	33	30	29	31			58	34	31	29	33	55	48
densité totale	74	84	102	69	84					73	71	73		

Les espèces toujours notées dominantes sur des superficies de 10 à 14 ha (densité spécifique supérieure ou égale à 5 % de la densité totale) sont la Fauvette à tête noire (7 à 16 couples / 10 ha), le Pinson des arbres (7 à 15), et la Mésange charbonnière (5 à 10). Les espèces parfois dominantes sont l'Étourneau sansonnet (2 à 16 couples / 10 ha), le Pouillot véloce (0,4 à 9), la Mésange bleue (3 à 7), la Rousserolle effarvate (0 à 7), le Rougegorge familier (1 à 6), le Merle noir (1 à 7), le Troglodyte mignon (1 à 6), la Grive musicienne (0,5 à 5), et le Grimpereau des jardins (1 à 4). L'ensemble de ces 12 espèces représente en moyenne 88 % de la densité totale.

Les **densités totales** (toutes espèces confondues) mesurées sur les quadrats de 12 à 14 ha s'étalent de 71 à 84 couples / 10 ha.

L'application des coefficients de conversion aux IPA moyens (Tableaux XV et XVI) par espèce sur l'ensemble des 400 points inventoriés dans les forêts de la plaine alsacienne fournit une densité moyenne de **72 couples / 10 ha**. Ces densités totales sont les plus faibles dans les deux grands massifs forestiers (respectivement 65 et 66 couples / 10 ha à Haguenau et dans la Hardt). Elles atteignent 87 couples / 10 ha dans les hautes futaies de l'III, et 74 couples / 10 ha en forêt rhénane. A l'étude du Tableau XVI, on s'aperçoit que l'Étourneau sansonnet explique presque à lui seul les fortes densités des forêts ellanes.

Globalement, les espèces les plus abondantes sont la Fauvette à tête noire (11,4 couples / 10 ha) et le Pinson des arbres (10,8 couples / 10 ha). Viennent ensuite la Mésange charbonnière (7,0 couples / 10 ha), l'Étourneau sansonnet (5,4), le Pouillot véloce (4,5), le Rougegorge familier (4,0) et la Mésange bleue (3,6).

Différences d'abondances selon les régions

Des ANOVA suivies de tests de Tukey réalisées sur les IPA moyens de chacune des principales espèces permettent de rechercher des différences d'abondance statistiquement significatives. Aucune des espèces notées comme les plus fréquentes ou les plus abondantes ne présente de différence statistiquement significative entre son abondance en forêt rhénane et ses abondances dans les trois autres régions de plaine.

Relations espèces / milieu

Des relations sont recherchées par régressions linéaires entre chacune des principales espèces et les variables du milieu sur l'ensemble des relevés de la plaine alsacienne (Tableau XVII). Les essences de présence non négligeable (surface terrière moyenne supérieure ou égale à 0,5 m²/ha) sont seules prises en compte. Contrairement aux résultats obtenus en forêt rhénane, la Fauvette à tête noire est à cette échelle sensible à la structure de la végétation : son abondance est par exemple corrélée positivement à la couverture arbustive*** et à la hauteur du peuplement*, et négativement à la distance à la lisière*** : son abondance croît lorsque la forêt est haute avec une strate arbustive abondante, et décroît en pénétrant dans les massifs forestiers. Le Pinson des arbres*** est très dépendant de la surface terrière totale, la Mésange charbonnière***, le Pic épeiche*** et le Grimpereau des jardins** voient augmenter leurs abondances corrélativement à la hauteur des arbres, la Mésange bleue*** et la Sittelle torchepot*** avec le diamètre maximal mesuré sur la placette.

Tableau XV - IPA moyens des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne

	Rhin	Hardt	Ill	Haguenau	plaine hors Rhin	global plaine pondéré
N	162	75	78	84	237	
alouette des champs	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.04
accenteur mouchet	0.19	0.37	0.03	0.25	0.22	0.85
autour des Palombes	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
bergeronnette grise	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03
bruant jaune	0.15	0.57	0.14	0.10	0.26	0.94
bouvreuil pivoine	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
bruant des roseaux	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
busard Saint-Martin	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
busard des roseaux	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
buse variable	0.03	0.08	0.08	0.02	0.06	0.22
canard colvert	0.15	0.04	0.09	0.02	0.05	0.29
canard chipeau	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
chardonneret élégant	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
coucou gris	0.65	0.84	0.38	1.19	0.81	3.10
corneille noire	0.74	0.73	0.67	0.27	0.55	2.39
choucas des tours	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
cygne tuberculé	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
étourneau sansonnet	0.55	0.25	1.52	0.24	0.67	2.49
épervier d'Europe	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04
faisan de Colchide	0.11	0.31	0.13	0.02	0.15	0.56
faucou crécerelle	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04
favette grisette	0.01	0.09	0.04	0.00	0.04	0.14
faucou hobereau	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
favette des jardins	0.10	0.11	0.05	0.15	0.11	0.42
fuligule morillon	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
foulque macroule	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
favette à tête noire	1.83	1.69	1.82	1.11	1.53	6.40
faucou pèlerin	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
grosbec casse-noyaux	0.12	0.21	0.15	0.29	0.22	0.77
grimpereau des bois	0.04	0.08	0.04	0.16	0.09	0.32
geai des chênes	0.32	0.57	0.39	0.44	0.47	1.72
grèbe castagneux	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
grand cormoran	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10
grive draine	0.02	0.00	0.07	0.11	0.06	0.20
gobemouche gris	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03
grimpereau des jardins	0.48	0.23	0.79	0.27	0.43	1.75
grive litorne	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
grive musicienne	1.17	0.83	0.75	0.70	0.76	3.44
grive mauvis	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
gobemouche noir	0.01	0.00	0.06	0.30	0.13	0.39
goéland leucopnée	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
héron cendré	0.03	0.00	0.06	0.00	0.02	0.09
hirondelle de fenêtre	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04
hypolaïs icterine	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
hirondelle rustique	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09

huppe fasciée	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
loriot d'Europe	0.39	0.33	0.38	0.25	0.32	1.34
locustelle tachetée	0.02	0.12	0.01	0.02	0.05	0.17
merle noir	1.44	1.35	0.95	1.45	1.25	5.20
martinet noir	0.26	0.04	0.08	0.19	0.11	0.57
mésange bleue	0.47	0.29	0.73	0.39	0.47	1.85
mésange boréale	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
mésange charbonnière	1.36	1.11	1.51	1.29	1.31	5.26
mésange huppée	0.00	0.01	0.00	0.10	0.04	0.11
milan noir	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
mésange noire	0.00	0.01	0.00	0.30	0.11	0.33
mésange nonnette	0.29	0.20	0.25	0.36	0.27	1.10
martin-pêcheur d'Europe	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
mésange à longue queue	0.12	0.07	0.04	0.02	0.04	0.24
mouette rieuse	0.17	0.00	0.01	0.00	0.00	0.18
pinson des arbres	1.70	1.39	1.79	1.65	1.62	6.52
pipit des arbres	0.01	0.05	0.03	0.40	0.17	0.51
pic cendré	0.00	0.00	0.02	0.12	0.05	0.14
pigeon colombin	0.02	0.00	0.04	0.13	0.06	0.19
gallinule poule d'eau	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pic épeiche	1.04	0.57	0.99	1.02	0.87	3.62
pic épeichette	0.08	0.04	0.05	0.05	0.05	0.22
pouillot fitis	0.29	1.00	0.14	0.88	0.68	2.34
pie-grièche écorcheur	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
pouillot véloce	1.39	1.56	0.90	1.05	1.16	4.89
pic mar	0.15	0.07	0.20	0.20	0.16	0.61
pic noir	0.08	0.13	0.06	0.18	0.13	0.46
pigeon ramier	1.16	1.14	0.79	1.15	1.03	4.25
pouillot siffleur	0.01	0.05	0.00	0.23	0.10	0.30
pic vert	0.31	0.17	0.29	0.15	0.20	0.92
rouge-gorge familier	0.88	1.03	0.88	1.13	1.01	3.92
roitelet triple-bandeau	0.03	0.01	0.01	0.15	0.06	0.21
rousserolle effarvate	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
roitelet huppé	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04	0.11
rougequeue noir	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
rossignol philomèle	0.04	0.72	0.10	0.00	0.26	0.85
rousserolle verderolle	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
sittelle torchepot	0.53	0.32	0.97	0.58	0.63	2.38
troglodyte mignon	1.08	0.49	1.51	1.14	1.06	4.20
tarin des aulnes	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
tourterelle des bois	0.57	0.71	0.14	0.46	0.43	1.89
torcol fourmilier	0.01	0.08	0.00	0.11	0.06	0.20
tarier pâtre	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
tourterelle turque	0.01	0.06	0.01	0.00	0.02	0.08
verdier d'Europe	0.09	0.04	0.04	0.00	0.03	0.17
vanneau huppé	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
s total	18.1	17.5	16.7	18.5	17.6	
s espèces nicheuses	17.6	17.3	16.6	18.4	17.4	

espèces non nicheuses

**Tableau XVI - Densités moyennes aux 10 ha (IPA convertis en densités)
des espèces rencontrées par l'auteur dans les forêts de la plaine alsacienne**

	Rhin	Hardt	Ill	Haguenau	plaine hors Rhin	global plaine pondéré
accenteur mouchet	0.6	1.2	0.1	0.8	0.7	0.7
alouette des champs		+	+		+	+
autour des Palombes	+	+	+	+	+	+
bergeronnette grise	+		+	0.1	+	+
bouvreuil pivoine	+			0.1	+	+
bruant des roseaux	0.1					+
bruant jaune	0.5	2.1	0.5	0.3	0.9	0.8
busard des roseaux	+	+			+	+
buse variable	+	+	+	+	+	+
canard chipeau	+					+
canard colvert	0.6	0.2	0.4	0.1	0.2	0.3
chardonneret élégant	0.1			0.1	+	+
corneille noire	1.8	1.7	1.6	0.7	1.3	1.3
coucou gris	0.2	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3
cygne tuberculé	0.1					+
épervier d'Europe	+	+	+	+	+	+
étourneau sansonnet	3.9	1.8	14.5	1.8	4.8	5.4
faisan de Colchide	0.1	0.2	0.1	+	0.1	0.1
faucon crécerelle	+	+	+	+	+	+
faucon hobereau		+		+	+	+
fauvette à tête noire	14.4	13.4	14.4	6.6	12.0	11.4
fauvette des jardins	0.5	0.5	0.2	0.7	0.5	0.5
fauvette grisette	0.1	0.4	0.2		0.2	0.2
foulque macroule	0.1					+
fuligule morillon	+					+
gallinule poule d'eau	+					+
geai des chênes	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
gobemouche gris	0.1			0.1	+	+
gobemouche noir	+		0.2	1.0	0.4	0.4
grèbe castagneux	0.2					+
grimpereau des bois	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2
grimpereau des jardins	1.9	0.9	3.0	1.0	1.6	1.6
grive draine	+		+	+	+	+
grive litorne	+					+
grive musicienne	2.0	1.4	1.3	1.2	1.3	1.4
grosbec casse-noyaux	1.0	1.6	1.2	2.3	1.7	1.6
héron cendré	+		+		+	+
huppe fasciée		+			+	+
hypolais ictérine	+	+			+	+
locustelle tachetée	0.1	0.4	+	0.1	0.2	0.2
loriot d'Europe	0.8	0.7	0.8	0.5	0.7	0.7
martin-pêcheur d'Europe	0.1					+
merle noir	2.9	2.7	1.9	3.0	2.6	2.6
mésange à longue queue	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3

mésange bleue	3.7	2.2	5.7	3.0	3.7	3.6
mésange boréale	+	0.1			+	+
mésange charbonnière	6.6	5.4	9.8	6.3	6.4	7.0
mésange huppée		0.1		0.6	0.2	0.2
mésange noire		0.1		1.6	0.6	0.6
mésange nonnette	1.2	0.8	1.0	1.5	1.1	1.2
milan noir	+	+		+	+	+
pic cendré			+	+	+	+
pic épeiche	1.5	0.8	1.5	1.5	1.3	1.3
pic épeichette	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
pic mar	0.3	0.1	0.4	0.4	0.3	0.4
pic noir	+	+	+	0.1	+	+
pic vert	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
pie-grièche écorcheur				+	+	+
pigeon colombin	+		+	0.1	+	+
pigeon ramier	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	0.6
pinson des arbres	11.9	7.3	12.5	11.6	11.3	10.8
pipit des arbres	+	+	+	0.3	0.1	0.1
pouillot fitis	0.6	2.2	0.3	1.9	1.5	1.4
pouillot siffleur	+	0.1		0.3	0.1	0.1
pouillot véloce	4.8	7.1	3.1	3.6	4.0	4.5
roitelet huppé				0.7	0.3	0.2
roitelet triple-bandeau	0.1	+	0.1	0.6	0.2	0.3
rossignol philomèle	0.1	1.7	0.2		0.6	0.5
rouge-gorge familier	3.5	4.1	3.5	4.5	4.0	4.0
rougequeue noir		+	+		+	+
rousserolle effarvatte	0.9					0.1
rousserolle verderolle	+					+
sittelle torchepot	1.2	0.7	2.2	1.3	1.4	1.4
tarier pâtre				+	+	+
torcol fourmilier	+	+		+	+	+
tourterelle des bois	0.4	0.5	0.1	0.4	0.3	0.3
tourterelle turque	+	0.1	+		+	+
troglydte mignon	2.6	1.2	4.9	2.8	2.6	2.9
verdier d'Europe	0.2	0.1	0.1		0.1	0.1
densité totale	74	66	87	65	71	72

espèce dominante

espèce sub-dominante

Tableau XVII - Relations linéaires entre oiseaux et variables du milieu en forêt de plaine alsacienne

	a	A	dmax	Eau	Ggb	Gt	H	phr	AUL	CHA	CHE	ERA	FRE	HET	Pcut	PS	y	mas	d	lognap
Acrobatiser mouchet		***											**					**		
Cornette noire	**			***										**	**	**				***
Etourneau sansonnet			*										***	*						***
Fauvette à tête noire	***				**								**	***	***					***
Grimpereau des jardins		*	**				**					**	***							*
Grive musicienne	*							**								***	*			***
Merle noir	*								*				**						*	**
Mésange bleue			***										***							**
Mésange charbonnière							***						***							*
Pic épeiche							***			*	*						***			**
Pigeon ramier		**																		**
Pinson des arbres						***	***					**						**		***
Pouillot véloce	*	**					***		**		*		**	*						*
Rougegorge familier		***	*							**							*	***		
Rousserolle effarvée				***				**										***	**	
Sittelle torchepot	*	***	***						**	*			***	**				***	**	
Troglodyte mignon	**	***					***		**	***		**	***	***	*			***		***
richesse	**	***	***											**						

corrélation possible
corrélation négative

*** corrélation très hautement significative
** corrélation hautement significative

* corrélation significative
"blanc" absence de corrélation

5.2.2. ANALYSE DE LA VARIABILITE AVIFAUNISTIQUE DANS LES FORETS DE LA PLAINE D'ALSACE

Richesse, Diversité et Densité par région forestière

Les 399 IPA réalisés dans les forêts de la plaine d'Alsace ont permis de recenser 91 espèces, dont 79 espèces nicheuses. On remarquera que si l'on compte 16 % d'espèces non nicheuses en forêt rhénane dans les relevés, on n'en recense qu'entre 4 et 9 % dans chacune des autres régions. Le rapport a/N (cf explication au chapitre 4.2.2.) est ici de 0,01 : il faudrait théoriquement faire 100 IPA supplémentaires pour rajouter une espèce sur la liste ! En moyenne, 17,8 espèces sont contactées à chaque IPA, dont 17,5 espèces nicheuses (intervalle de confiance à 5 % = 0,26 en ne considérant que les espèces nicheuses).

La **diversité alpha** correspond à la richesse par relevé (« au point »). Pour vérifier la validité statistique des différences de richesses observées entre chacune des quatre régions naturelles de la plaine d'Alsace (Figure 24), une ANOVA est réalisée, suivie de tests de Tukey. Les relevés des forêts de l'III (16,6) sont nettement moins riches que ceux des forêts de Haguenau (18,4)*** et du Rhin (17,6)*. Les forêts rhénanes ne présentent pas de différence statistiquement significative avec celles de la Hardt (17,3) ou de Haguenau.

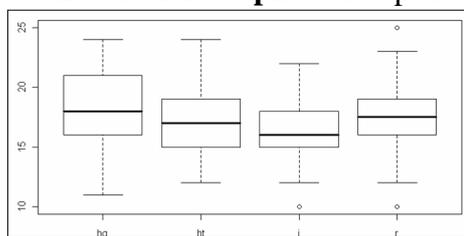


Figure 24 – Richesse par relevé dans chacune des régions forestières de la plaine d'Alsace : moyenne, premier et troisième quartile, minimum et maximum.

Le nombre inégal de relevés dans les différents massifs interdit de comparer les richesses totales observées dans chacun d'eux. Pour comparer les nombres d'espèces correspondant à un même effort d'échantillonnage, une méthode de raréfaction (logiciel *EstimateS*) est utilisée. L'effort d'échantillonnage retenu pour la comparaison est de 75 IPA (Tableau XVIII). La richesse observée est maximale en forêt rhénane (60 espèces), moyennes sur les deux grands massifs de la Hardt et de Haguenau (56) et la plus faible dans les forêts uniformes de l'III (52). Par ailleurs,

pour le même effort comparable (75 IPA), on peut estimer le nombre

Tableau XVIII - Principales caractéristiques de richesse et densité avifaunistiques dans les régions forestières en plaine d'Alsace

	Rhin	Hardt	III	Haguenau
diversité alpha	17.6	17.3	16.6	18.4
diversité bêta	7.5	5.7	5.9	6.9
nombre d'esp après 75 ipa	60.4	56.0	51.7	56.3
Jacknife d'ordre 1 (75 ipa)	71.6	67.8	59.6	63.5
densité estimée	74	66	87	65

« total » d'espèces attendu pour chaque région naturelle à l'aide du Jacknife d'ordre 1. Ces richesses totales estimées s'étagent régulièrement : 72 en forêt rhénane, 68 dans la Hardt, 64 à Haguenau et 60 dans les forêts ellanes.

La **diversité bêta** traduit le « *turn over* » des espèces d'un point d'inventaire à un autre, autrement dit l'augmentation du nombre cumulé d'espèces en fonction du nombre de relevés. Cette diversité est mesurée par la pente de la droite de régression linéaire du nombre cumulé d'espèces en fonction du logarithme du nombre de relevés. Elle est

maximum près du Rhin (7,5), minimum dans les forêts de la Hardt (5,7) et les forêts de l'Ill (5,9), intermédiaire à Haguenau (6,9).

Richesse, Diversité et Densité par type forestier

L'analyse par grands types forestiers (chênaies, frênaies, charmaies, hêtraies, pinèdes sylvestres, peupleraies de culture – Tableau XIX) selon le même principe permet d'en dresser la synthèse des caractéristiques de richesse, diversité et densité (un type forestier

	chênaies	frênaies	charmaies	hêtraies	pinèdes	peupleraies cult
N	95	38	33	27	18	12
diversité alpha	17.5	16.4	17.3	18.9	17.4	17.6
diversité bêta	7.3	6.0	6.0	7.0	7.4	6.3
nombre d'esp après 12 ipa	41.6	35.7	36.8	43.2	43.3	40.0
Jacknife d'ordre 1 (12 ipa)	51.1	44.9	44.1	52.0	53.7	48.3
densité estimée	64	80	67	67	64	78

est défini lorsque la surface terrière d'une essence est supérieure ou égale à 50 % de la surface terrière totale sur un relevé) : les frênaies forment les peuplements les plus pauvres localement (16,4), et présentant la plus faible diversité bêta avec les charmaies, mais sont les plus densément peuplées (80 couples / 10 ha). Les hêtraies, qui sont les formations les plus riches « au point » (18,9), sont parmi les moins denses en couples d'oiseaux nicheurs (67 couples / 10 ha). Les peupleraies de culture se caractérisent par de fortes densités (78 couples / 10 ha), mais leur diversité bêta est faible. Les pinèdes et les chênaies sont les forêts ayant la plus forte diversité bêta.

Relations richesse / milieu

La recherche de relations linéaires entre la richesse par IPA et les caractéristiques du milieu dans l'ensemble des forêts de la plaine d'Alsace confirme les conclusions trouvées en forêt rhénane (Tableau XVII). La richesse en oiseaux nicheurs est corrélée positivement au diamètre maximum mesuré sur la placette***, et négativement à la couverture arborescente*** et arbustive**. Une forte corrélation positive existe également entre richesse en oiseaux et présence de Hêtre**, ainsi qu'avec la longueur***.

La relation entre le nombre d'espèces par relevé et la densité totale se vérifie lorsque l'on considère l'ensemble des relevés de la plaine (Figure 25). Les 10 % de points les moins riches correspondent alors à une densité de 63 couples / 10 ha, les 10 % les plus riches présentant une densité de 81 couples / 10 ha.

Cette relation n'est plus vérifiée si l'on considère richesse et densité par région naturelle, ou par type forestier (cf. tableaux précédents). Cette relation n'est vérifiée qu'à l'intérieur d'un ensemble

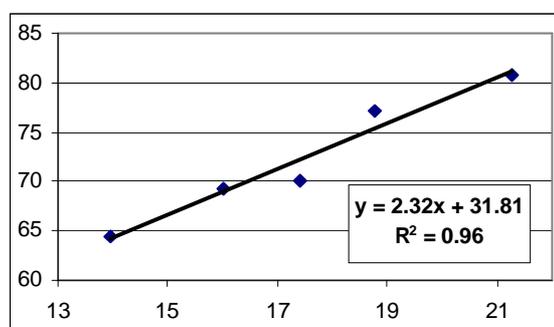


Figure 25 – Densité aux 10 ha (en ordonnées) en fonction de la richesse par relevé (en abscisses) dans les forêts de la plaine alsacienne.

sans grande variabilité (elle se vérifie par exemple au sein des chênaies, mais pas entre chênaies et hêtraies).

Similarité entre régions

La similarité entre régions peut être mesurée sur la base des espèces co-présentes dans deux régions par l'indice de Sørensen (rapport de la double somme des co-présences sur le nombre d'espèces présentes dans la première communauté plus le nombre d'espèces présentes dans la deuxième communauté). On mesure ainsi le pourcentage de ressemblance des avifaunes, en terme de nombre d'espèces. Cet indice varie de 53 à 59 % entre les quatre régions de la plaine d'Alsace (Tableau XX).

On peut également quantifier la similarité entre régions en prenant en compte les abondances de chacune des espèces. Cet indice de Steinhaus peut être calculé comme le rapport de la double somme des abondances minimales de chacune des espèces dans

Tableau XX - Indice de similarité de Sørensen sur les présences entre régions forestières en plaine d'Alsace			
	Hardt	III	Haguenau
Rhin	0.57	0.53	0.58
Hardt		0.54	0.59
III			0.59

Tableau XXI - Indice de similarité de Steinhaus sur les abondances entre régions forestières en plaine d'Alsace			
	Hardt	III	Haguenau
Rhin	0.79	0.81	0.79
Hardt		0.67	0.74
III			0.68

chacune des régions sur la somme des densités totales de chaque région. Il est calculé à partir des densités obtenues par la conversion des IPA moyens par espèce. On mesure alors le pourcentage de ressemblance des avifaunes, en terme de couples par espèce (Tableau XXI). Cet indice varie alors de 67 à 81 % : les régions sont bien plus semblables entre elles si l'on considère l'ensemble de

l'avifaune nicheuse, et non plus seulement la simple présence / absence des espèces. L'avifaune des forêts rhénanes est proche de celle des trois autres régions, les différences entre ces dernières étant plus marquées.

Les gradients d'avifaune

Une Analyse Factorielle des correspondances est réalisée sur l'ensemble des relevés d'avifaune des forêts de la plaine, après avoir retiré les espèces mal recensées par IPA (Figures 26 et 27). Il reste alors 71 espèces soumises à l'analyse. Les trois axes représentent respectivement 7, 5 et 4 % de la variabilité.

L'axe principal d'étirement du nuage de points traduit l'ouverture des peuplements, les espèces de milieux ouverts et / ou de lisière étant isolées vers les valeurs positives. Un certain nombre de relevés de la Hardt (Nord surtout) participent grandement à cette différenciation. Le second axe isole les espèces rencontrées (quasi) exclusivement sur le massif de Haguenau, qu'elles soient inféodées aux résineux ou au Hêtre, ou limitées par la biogéographie. Enfin, le troisième axe traduit de manière très nette la présence des oiseaux d'eau, quasi exclusivement inféodés aux forêts rhénanes.

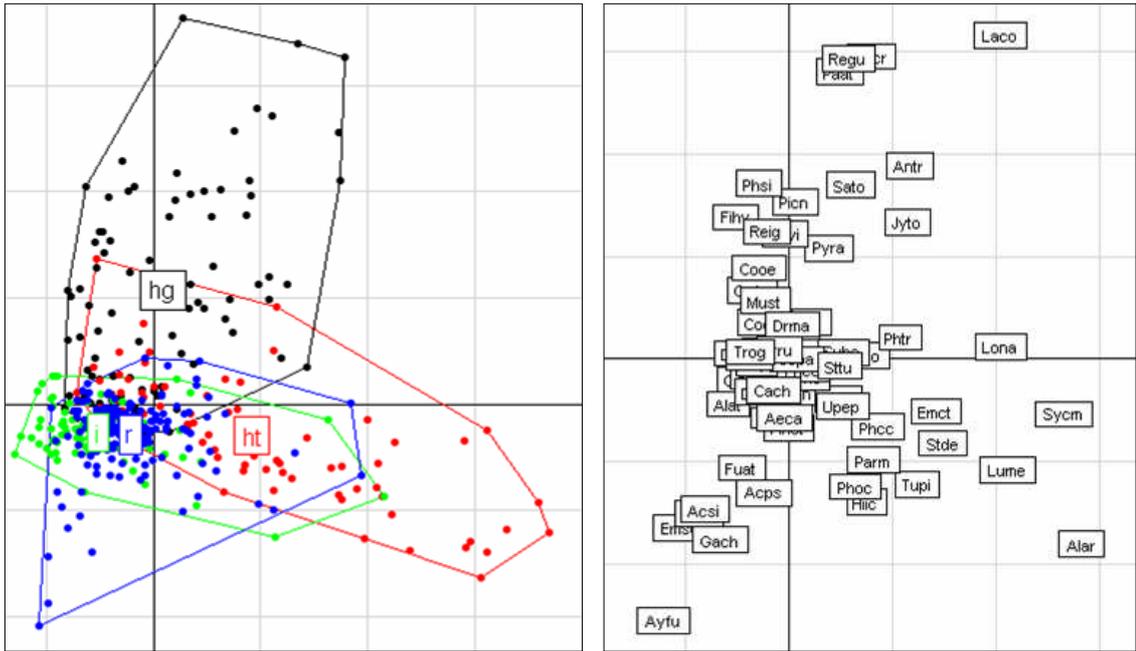


Figure 26 – AFC sur oiseaux en forêts de plaine d’Alsace. A gauche, plan factoriel des relevés regroupés par régions naturelles, à droite plan factoriel des espèces. Plan F1 F2.

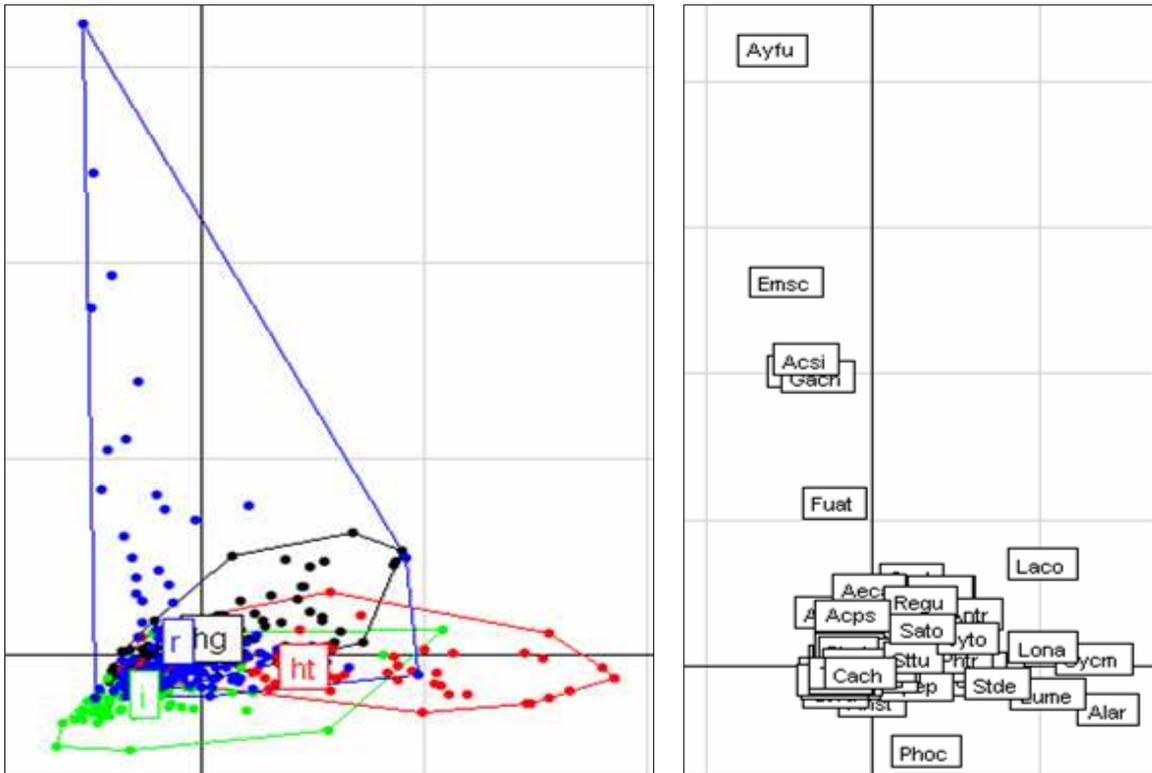


Figure 27 – AFC sur oiseaux en forêts de plaine d’Alsace. A gauche, plan factoriel des relevés regroupés par régions naturelles, à droite plan factoriel des espèces. Plan F1 F3.

Relations gradients d'avifaune / gradients de structure

Dans le but de préciser les relations entre les avifaunes et les gradients de structure, une AFCVI espèces d'oiseaux / structure des forêts de la plaine d'Alsace est réalisée (Figure 28). Les deux premiers axes retiennent une majeure partie de la variabilité, respectivement 32 et 30 %, le troisième en emportant 14 %. Le rapport des traces AFCVI / AFC est de 0,106. Les oiseaux d'eau, présents dans les relevés rhénans exclusivement, étirent très fortement le nuage de points sur le premier axe. Les variables corrélatives sont la présence d'eau et de phragmites. Le second axe différencie à une extrémité les forêts présentant un fort volume de bois, de grands et gros arbres (présentes sur toutes les régions sauf la Hardt) : le Gobemouche noir, le Pouillot siffleur, le Pigeon colombin et la Corneille noire par exemple sont corrélés à ces critères. A l'autre extrémité de cet axe sont regroupées les forêts ouvertes, présentant une strate arbustive dense (toutes sauf les forêts de l'III) : on y rencontre en particulier la Pie-grièche écorcheur, la Fauvette grisette ou le Rossignol philomèle.

Une seconde AFCVI est réalisée sans les oiseaux d'eau *lato sensu*, afin de préciser l'influence des paramètres structurant des forêts de plaine sur l'avifaune forestière proprement dite, hors présence d'eau (Figure 29). Les premiers axes emportent une grande partie de la variabilité, respectivement pour les deux premiers 49 et 23 % de la variabilité, 9 % pour le troisième. Le rapport des traces AFCVI / AFC est de 0,080. Le premier axe isole d'une part les milieux ouverts, d'autre part les forêts « constituées ». Le second axe oppose la présence d'une strate arbustive fournie (avec l'Hypolais ictérine et le Rossignol philomèle) à l'existence d'un fort volume de gros bois (avec le Bouvreuil pivoine, le Gobemouche noir, le Pic cendré, le Pouillot siffleur, le Pigeon colombin, etc)..

Le troisième axe (non représenté) regroupe à une extrémité les relevés à fort volume de gros bois, à diamètre maximal et à forte couverture arbustive, l'inverse à l'autre extrémité.

Relations gradients d'avifaune / gradients de topographie

Une AFCVI menée sur les relations oiseaux / données topographiques (Figure 30) montre une discrimination géographique déterminante : le premier axe (traduisant 47 % de la variabilité) étale les relevés le long du gradient Nord-Sud, la taille du massif y étant associée (à cause du massif d'Haguenau). Le second axe (25 % de variabilité) traduit la profondeur de la nappe phréatique et un effet altitude. Le troisième traduit le gradient Est-Ouest.

Relations gradients d'avifaune / gradients d'essences

Les premiers axes de l' AFCVI avifaune / essences emportent respectivement 32, 15 et 10 % de la variabilité (Figures 31 et 32). Le premier axe traduit la présence de Frêne et d'érable, le second les forêts de Hêtre (le Pic cendré en étant un représentant) et de Pin sylvestre (avec par exemple le Bouvreuil pivoine). Le troisième axe sépare les pinèdes (Roitelet huppé) des hêtraies-chênaies (Pouillot siffleur).

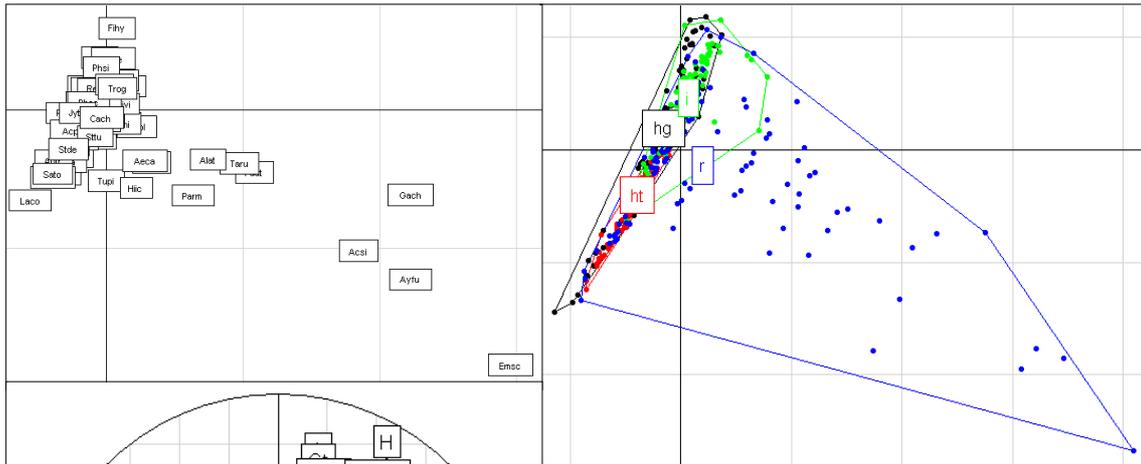


Figure 28 – AFCVI oiseaux / structure dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.

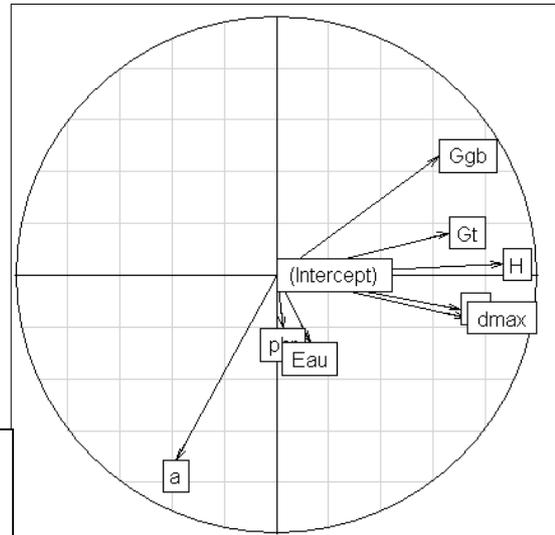
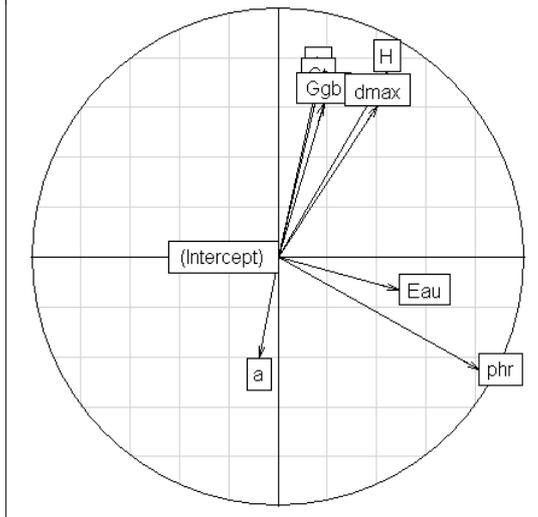
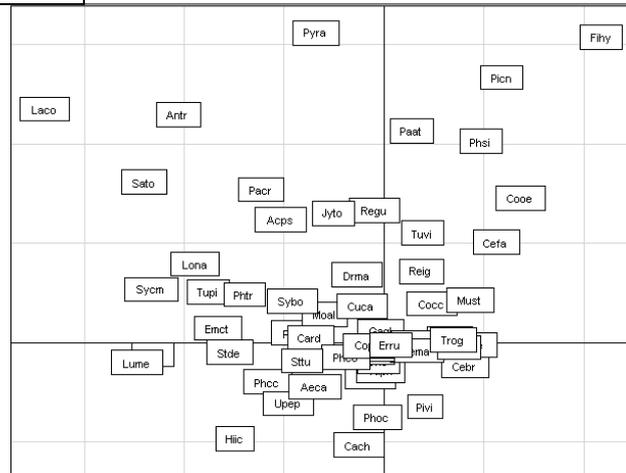
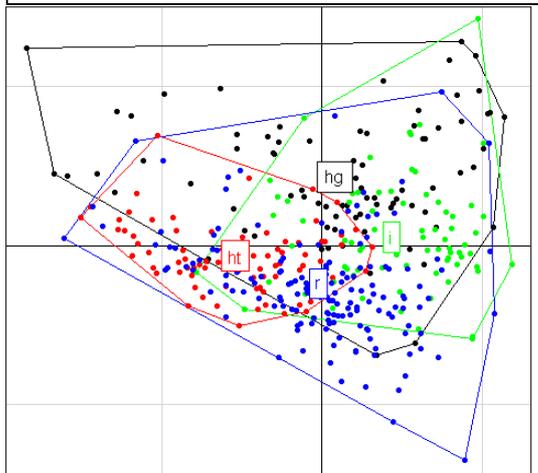


Figure 29 – Seconde AFCVI oiseaux (sans les oiseaux d'eau) / structure dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.



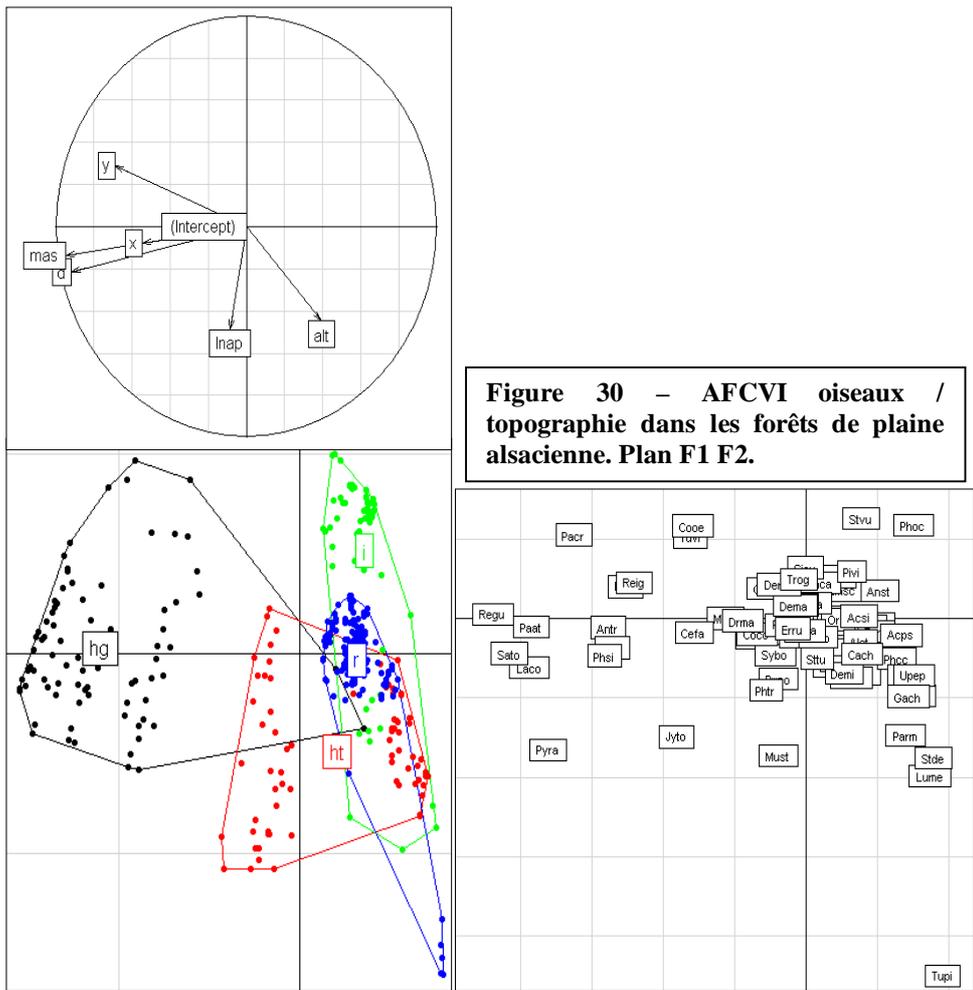


Figure 30 – AFCVI oiseaux / topographie dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.

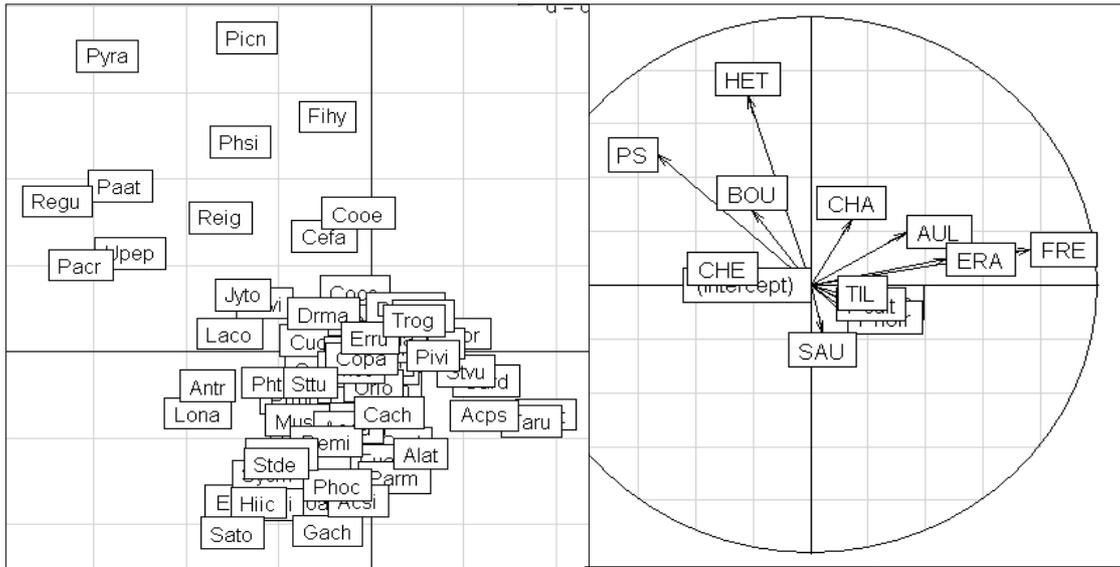


Figure 31 – AFCVI oiseaux / essences dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F2.

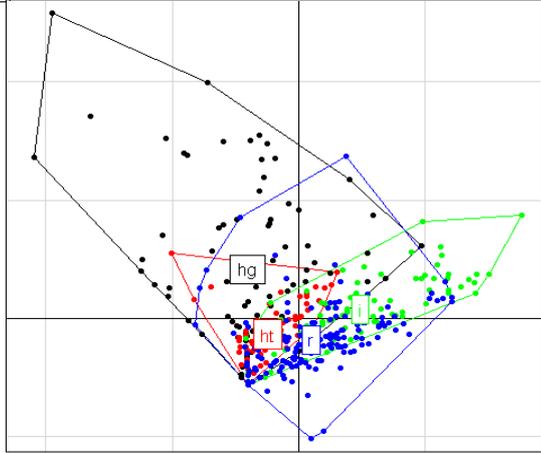
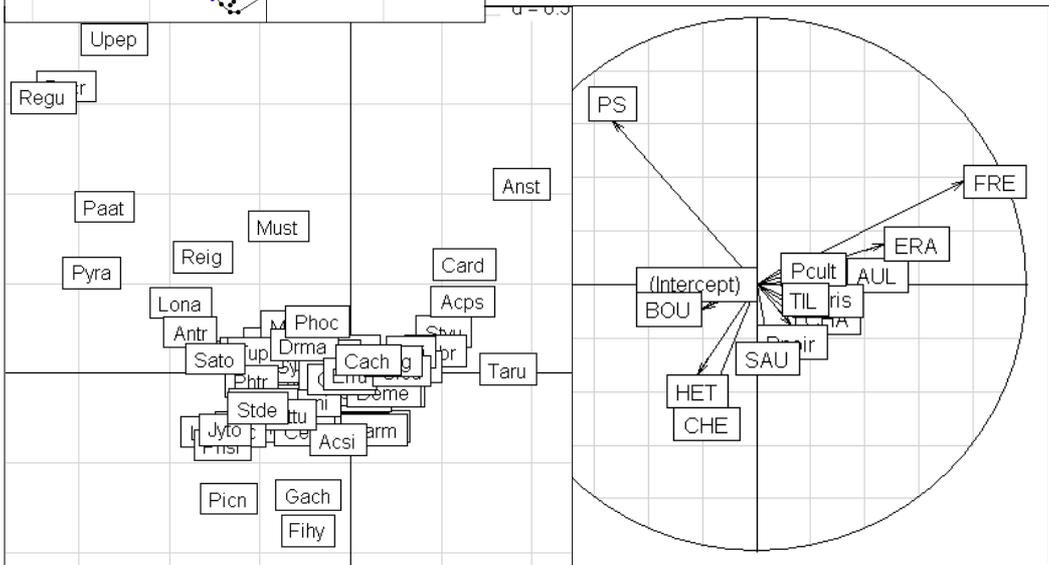
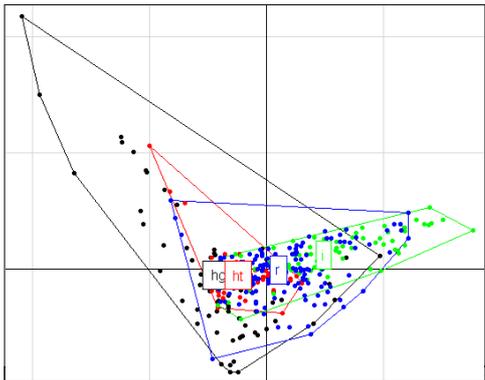


Figure 32 – AFCVI oiseaux / essences dans les forêts de plaine alsacienne. Plan F1 F3.



Synthèse : partition et ré-ordination du tableau espèces x relevés initial – Notion d'amplitude d'habitat

Dans le but de faire ressortir sous forme de tableau les ressemblances entre ensembles de relevés et ensembles d'espèces d'oiseaux, deux classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) sont réalisées, à la suite d'une AFC du tableau espèces x relevés global (79 espèces × 399 relevés), sur les coordonnées des deux premiers axes, des espèces d'une part, des relevés d'autre part. Les rapaces et le Héron cendré n'ont pas été pris en compte. Six grands groupes d'espèces sont identifiés, ainsi que huit groupes de relevés (Tableaux XXII et XXIII).

A l'aide du coefficient de variation de la densité de chacune des espèces dans chacun des assemblages (Tableau XXII), peut être défini « l'amplitude d'habitat », et les densités minimale et maximale « moyennes » de l'espèce. Les résultats sont présentés en annexe.

Les **groupes d'oiseaux** rapprochent les espèces qui répondent de manière assez semblable aux sollicitations du milieu, qui se rencontrent régulièrement ensemble.

Le groupe I rassemble les espèces inféodées aux résineux et au Hêtre, presque toutes spécialistes : Mésanges noire et huppé, roitelets, Grosbec cassenois, Gobemouche noir, Pipit des arbres, Grimpereau des bois ...

Le groupe II rapproche les oiseaux des milieux très ouverts, très généralement spécialistes : Pouillot fitis, Bruant jaune, Rossignol philomèle, Fauvettes gristte et des jardins, Locustelle tachetée, Tourterelle des bois ...

Le groupe III a regroupe les espèces ubiquistes, présents dans toutes les forêts : Fauvette à tête noire, Pinson des arbres, Pouillot véloce, Mésange charbonnière, Merle noir, Corneille noire, Grive musicienne ...

Le groupe III b définit les oiseaux inféodés aux stades terminaux des cycles sylvigénétiques, mais présents dans toutes forêts : Mésange bleue, Troglodyte mignon, Grimpereau des jardins, Sittelle torchepot, Mésange nonnette, Pic mar.

Le groupe IV a regroupe des espèces liées aux gros arbres de lisières : Etourneau sansonnet, Mésange à longue queue, Pics vert et épeichette ...

Le groupe IV b est constitué par les oiseaux spécialistes des bras d'eau et milieux associés: Rousserolles effarvate et verderolle, Foulque macroule, Gallinule Poule d'eau etc ...

Les **groupes de relevés**, réalisés sur les données avifaunistiques (IPA) correspondent à des assemblages d'oiseaux cohérents.

Le groupe A correspond aux relevés de milieux secs très ouverts, essentiellement rencontrés sur la Hardt Nord, ainsi qu'à quelques endroits en forêts rhénane et ellane. La strate arborescente est très claire (42 % de recouvrement), la strate arbustive très dense

(74 %). De fortes densités de Rossignol philomèle et Pouillot fitis sont notées (et de très faibles densités de Troglodyte mignon et de Pic épeiche). Sa richesse est moyenne (17,6), sa densité totale est assez faible (66 couples / 10 ha).

Le groupe B est défini essentiellement sur le massif de Haguenau, et quelques points de la Hardt : il regroupe les espèces inféodées aux résineux et aux coupes associées (Mésange noire, Pipit des arbres). Sa richesse est la plus élevée des huit groupes (18,5), sa densité est la plus faible (62).

Les six autres groupes correspondent au cœur de la forêt feuillue de plaine, trois d'entre eux (C1, C2 et C3) avec une présence importante de stades jeunes (fourrés et perchis), à richesse et densités moyennes, les trois autres (D1, D2 et D3) regroupant les forêts matures.

Le groupe C1 correspond aux chênaies-charmaies-tillaies rhénanes ou de la Hardt, où les gros arbres sont rares. La Fauvette des jardins ou le Pigeon ramier y sont bien représentés.

Le groupe C2, essentiellement rhéan, regroupe surtout les perchis-jeunes futaies d'érables et de frêne mélangés à d'autres essences. Le Pic épeichette n'y est pas rare.

Le groupe C3 correspond aux chênaies (-hêtraies) de Haguenau et de la Hardt, relativement fermées et à strate arbustive fournie, à gros arbres bien représentés et souvent éloignées de la lisière externe du massif. On y rencontre en particulier le Grosbec cassenois, le Grimpereau des bois, l'Accenteur mouchet, le Pic noir ...

Le groupe D1 correspond à des forêts feuillues assez répandues, mélangées, à strates arborée et arbustives fournies. La diversité y est faible (16,9) et la densité moyenne (71). On y trouve le Gobemouche gris, le Pouillot véloce, la Grive musicienne ...

Le groupe D2 défini de hautes futaies mélangées du Rhin et de l'Ill, à diversité moyenne (17,5) et densité élevée (79 couples / 10 ha). Etourneau sansonnet, Pic vert, Mésange bleue y sont nombreux.

Le groupe D3 correspond aux plus hautes futaies feuillues, à forte surface terrière, essentiellement les frênaies situées près de bras d'eau ellans. On y trouve la Sittelle torchepot, le Pic mar ... La diversité y est la plus faible (16,9), la densité la plus forte (83 couples / 10 ha).

Nous retrouvons dans nos assemblages les trois avifaunes schématiques définies par FROCHOT *et al.* (2003) au sein de l'avifaune des ripisylves, constituée de trois groupes d'espèces rassemblés :

- des oiseaux forestiers proprement dits qui se reproduisent et de nourrissent en forêt, composant une avifaune relativement banale, constituant « *le fond de l'avifaune forestière européenne* » (BLONDEL, 1995),
- des oiseaux directement liés à l'eau, qui profitent de l'effet lisière du côté du fleuve pour s'y nourrir mais se reproduisent dans les grands arbres forestiers,
- des oiseaux de lisière, qui profitent de manière symétrique de l'effet lisière du côté « terrestre ».

**Tableau XXII - Groupe d'espèces et groupes de relevés définis après AFC
du tableau initial relevés x espèces suivi d'une Classification Ascendante
Hiérarchique (CAH) sur les relevés et d'une CAH sur les espèces**

	A	B	C1	C2	C3	D1	D2	D3			
N	41	50	39	53	44	45	69	58			
rhin	3	0	12	25	4	17	26	12			
hardt	44	4	19	3	19	9	1	1			
ill	4	0	6	9	3	8	32	38			
haguenau	0	56	1	4	25	5	1	8	cv		
I	pie-grièche écorcheur		+						2.6		
	mésange huppée		1.2						2.6		
	roitelet huppé		1.1			0.2			2.3		
	mésange noire		2.8						2.6		
	pipit des arbres	0.1	0.5	+		+			2.0		
	torcol fourmilier	+	0.1	+		+			1.3		
	tarier pâtre		+						2.6		
	bouvreuil pivoine		0.1						2.6		
	gobemouche gris		0.1		+		0.2		0.1	1.2	
	grosbec casse-noyaux	0.6	2.3	0.9	0.5	2.2	1.4	1.3	1.9	0.5	
	pigeon colombin		0.1		+	+	+	+	+	1.0	
	grimpereau des bois		0.2			0.5	0.1	0.1	0.2	1.2	
	pic cendré		+			+		+	+	1.8	
	grive draine		0.1	+		+	+		+	1.1	
	roitelet triple-bandeau		0.8	0.1	0.2	0.4	0.1		0.1	1.3	
pouillot siffleur		0.4		+	0.2			+	1.7		
gobemouche noir		1.1			0.7		+	0.3	1.5		
II	alouette des champs		+						2.6		
	fauvette grisette		1.4						2.6		
	rossignol philomèle		3.1		0.5	0.1	0.1			2.1	
	faisan de Colchide		0.2		0.1	0.1	+	+	+	1.0	
	mésange boréale		0.2					0.1		1.8	
	grive litorne		+							2.6	
	hypolaïs icterine		+		+	+			+	1.0	
	rougequeue noir		+					+		1.7	
	tourterelle turque		0.1		0.1	+	+		+	1.5	
	bruant jaune		3.6	0.4	1.9	0.9	0.2		0.2	1.3	
	locustelle tachetée		0.7	0.4	0.2	+				1.5	
	pouillot fitis		4.6	2.6	1.5	0.9	1.0	0.4	0.1	+	1.0
	accenteur mouchet		1.5	1.0	0.8	0.7	1.1	0.4	0.2	0.1	0.6
	fauvette des jardins		0.6	0.7	1.0	0.6	0.5	0.2	0.4		0.6
	tourterelle des bois		0.7	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.1	0.5
huppe fasciée				+						2.6	
cygne tuberculé		0.2		+	0.1		+	0.1	+	1.0	
III a	loriot d'Europe	1.0	0.6	1.0	0.8	0.5	0.6	0.9	0.5	0.3	
	pouillot véloce	7.3	3.5	7.8	5.1	4.1	4.5	4.2	2.4	0.4	
	corneille noire	2.1	0.5	1.9	1.7	0.9	1.4	1.9	1.5	0.3	
	fauvette à tête noire	12.9	6.4	14.6	14.4	12.4	13.1	15.2	12.4	0.2	
	grive musicienne	1.3	0.8	1.5	1.6	1.5	1.8	1.9	1.7	0.2	

	coucou gris	0.2	0.5	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.4
	bergeronnette grise		+	0.1		0.1	0.1	0.1		0.9
	pic noir	+	0.1	+	+	0.1	+	+	+	0.4
	chardonneret élégant		0.1					0.1		1.8
	pigeon ramier	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.1
	geai des chênes	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
	merle noir	2.5	2.9	2.7	2.8	4.4	3.1	2.3	2.2	0.2
	rouge-gorge familier	2.6	3.9	4.0	3.3	5.0	4.6	3.5	3.8	0.2
	mésange charbonnière	5.5	5.8	6.1	6.7	5.9	6.9	6.9	7.2	0.1
	pinson des arbres	3.7	8.9	7.2	10.8	12.7	14.4	12.4	13.7	0.3
	pic épeiche	0.6	1.3	1.0	1.4	1.6	1.6	1.5	1.7	0.3
III b	trogodyte mignon	0.4	2.6	1.7	2.4	2.8	2.8	3.2	5.2	0.5
	sittelle torchepot	0.3	1.1	1.0	1.0	1.2	1.6	1.6	2.4	0.4
	pic mar	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7	0.3	0.4	0.6	0.7
	mésange nonnette	0.5	0.8	0.9	1.2	1.7	1.4	1.4	1.2	0.3
	mésange bleue	2.1	2.0	2.2	3.8	2.9	3.4	5.3	5.9	0.4
	grimpereau des jardins	0.6	0.6	0.8	2.4	1.4	1.7	2.5	2.9	0.5
IV a	mésange à longue queue	0.6	0.1	0.3	0.4	0.2	0.1	0.9	0.4	0.6
	canard colvert	0.4		0.5	0.5	0.1	0.1	0.8	0.5	0.7
	verdier d'Europe		+	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	+	0.7
	pic vert	0.1	+	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5
	pic épeichette	+	+	0.1	0.2	+	0.1	0.1	0.1	0.6
	étourneau sansonnet	2.6	1.2	3.2	3.8	1.4	2.6	7.4	10.1	0.7
	martin-pêcheur d'Europe				0.1			0.1	0.1	1.3
IV b	rousserolle verderolle			+					+	1.8
	foulque macroule	+		+	0.1		+	+	+	1.0
	gallinule poule d'eau								+	2.6
	rousserolle effarvate			0.2	0.1			0.3	1.9	1.9
	grèbe castagneux							0.1	0.3	1.8
	fuligule morillon								+	2.6
	s	17.6	18.5	17.6	17.4	17.8	16.9	17.5	16.9	
	D	66	62	68	71	71	71	79	83	

Tableau XXIII - Caractéristiques forestières moyennes des groupes de relevés définis par AFC puis CAH sur le tableau relevés x espèces

	A	B	C1	C2	C3	D1	D2	D3
variables structurelles (en dixièmes de recouvrement)								
semis	0.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
fourrés	0.5	0.8	0.9	0.8	0.5	0.2	0.2	0.1
perchis	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1
futaie	8.8	7.8	7.7	7.8	8.8	9.0	8.7	9.2
taillis	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
phragmites	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3
bras d'eau	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.3
couverture arborescente	4.2	5.0	5.3	5.4	6.3	6.6	5.7	7.3
couverture arbustive	7.4	4.1	6.8	7.1	4.6	6.7	6.3	5.1
surface terrière totale (en m ²)	9.2	15.7	12.2	12.8	17.2	15.5	16.4	19.6
surface terrière en gros bois (en m ²)	0.5	3.7	1.1	2.2	4.3	2.4	2.6	4.9
diamètre maximum (en cm)	40	51	46	66	61	70	67	71
hauteur du peuplement (en m)	14	24	20	24	26	26	27	30
essences (en m ² de surface terrière)								
Aulne glutineux	0.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.7	1.0	1.7
Bouleau verruqueux	0.0	0.6	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1
Charme	1.3	0.8	1.6	1.1	4.0	2.2	1.9	1.4
chênes	5.9	3.5	4.0	2.9	5.9	3.6	2.6	4.0
érables	0.1	0.0	0.8	1.5	0.3	1.7	2.3	3.0
Frêne commun	0.2	0.0	0.9	2.3	0.4	1.9	3.8	6.1
Hêtre	0.0	4.2	0.1	0.3	3.2	0.7	0.3	0.5
Merisier	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1
Peuplier de culture	0.1	0.1	0.7	0.6	0.4	0.7	1.1	0.2
Peuplier "grisard"	0.3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.7	0.7	0.2
Peuplier noir	0.1	0.0	0.0	0.5	0.1	0.7	0.5	0.2
saules	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2
Tilleul	0.0	0.0	1.1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4
autres feuillus	0.9	0.0	1.1	1.5	0.2	1.4	1.3	1.3
Pin sylvestre	0.1	5.0	0.6	0.1	0.8	0.3	0.1	0.1
autres résineux	0.0	1.2	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0
variables topographiques								
longitude (Lambert II étendu)	983613	1003048	988622	994239	995501	992587	989999	988344
latitude (Lambert II étendu)	2342038	2435571	2356991	2380273	2391700	2374239	2376550	2383170
altitude (en m)	206	151	192	167	177	175	170	166
superficie du massif (en km ²)	16	206	35	29	149	53	19	39
distance à la lisière (en hm)	4.0	25.3	3.1	3.2	17.8	5.6	2.8	4.8
profondeur de la nappe (en m)	8.9	4.1	6.7	2.9	9.5	5.2	2.8	2.7

6. DISCUSSION

6.1. LES VARIATIONS DE COMPOSITION DE L'AVIFAUNE

6.1.1. LES RELATIONS AVEC LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Avifaune et structure forestière

A l'échelle des forêts de la plaine dans son ensemble, le premier critère de différenciation des avifaunes est toujours ce que nous appellerons **le volume de la végétation arborescente**. Ce volume occupé par la végétation ligneuse haute traduit à la fois le degré de couvert de la strate arborescente et la surface terrière totale, ces deux paramètres étant souvent bien corrélés positivement entre eux.

Nous retrouvons les conclusions émises par ROCHE (1995) le long du cours de l'Allier. Cet auteur montre que, dans la partie amont très forestière de cette rivière, le degré d'ouverture du milieu est le premier facteur explicatif des variations de l'avifaune. De même, SPÄTH *et al.* (1985) précisent que la couverture arborescente est l'un des paramètres structuraux les plus souvent corrélés aux différentes associations d'oiseaux en forêt rhénane.

Dans les milieux les plus ouverts, le second critère de différenciation des avifaunes est **l'occupation de la strate basse**. Cette strate peut-être occupée soit par des bras d'eau, soit par des milieux humides à végétation dense sans eau libre (roselières, saulaies basses), soit par des milieux xériques à strate arbustive pauvre (levées sèches rhénanes ou *Heischiens* de la Hardt Nord), ou à strate arbustive abondante (coupes forestières par exemple). Ces résultats recourent ceux de l'auteur (DENIS, 2005 b) sur les relations entre avifaune et structure forestière en forêt rhénane. Il était alors montré que, parmi les forêts ouvertes (c'est-à-dire de couverture arborescente inférieure à 50 %), les zones très ouvertes (couverture inférieure à 1/3) présentaient une avifaune particulière. Les zones semi-ouvertes (couverture entre 1/3 et 50 %) se distinguaient ensuite selon qu'elles étaient à proximité de bras d'eau (avec eau libre, ou bras morts avec simplement présence de milieux humides) ou en situation plus sèche et, dans ce dernier cas, selon l'importance de la strate arbustive, claire ou dense.

Les avifaunes des forêts « constituées », c'est-à-dire non particulièrement ouvertes, se différencient selon **la taille des arbres**. La taille traduit à la fois la hauteur du peuplement et le diamètre maximal mesuré sur la placette, ces deux variables étant souvent bien corrélées entre elles. Ces conclusions confirment celles de MULLER (1985) établies sur la succession sylvicole du Hêtre en futaie régulière dans les Vosges du Nord. Les premiers stades sylviculturaux, très ouverts, sont nettement distingués des suivants. Au sein de la forêt plus âgée, la taille des arbres, soit leur âge dans la succession, est le critère principal de différenciation.

Concernant les forêts rhénanes uniquement, la présence de milieux humides, bras d'eau ou roselières, est prépondérante pour la différenciation des avifaunes. Puis le schéma général est ensuite identique à celui rencontré dans les forêts de la plaine.

Avifaune et essences forestières

En considérant l'ensemble des relevés de la plaine d'Alsace, les avifaunes se différencient selon trois pôles principaux : les frênaies, les chênaies et les pinèdes. Les hêtraies sont dans un premier temps rassemblées avec les pinèdes : toutes deux sont quasi exclusivement présentes sur le massif de Haguenau, à affinités sub-montagnardes. Les peuplements de Hêtre sont ensuite regroupés avec les chênaies, avec lesquelles ils peuvent constituer de superbes mélanges de feuillus. Les peupliers, peu représentés dans l'ensemble, ne créent pas de différenciation à ce niveau.

Au sein des forêts rhénanes, nos analyses montrent que la dominance du Chêne est le premier facteur de différenciation des avifaunes. Les Peupliers de culture et grisard viennent en seconde position, suivis par le Frêne.

Un examen critique des résultats permet de voir que cette importance du Chêne est liée à la structure souvent très ouverte des chênaies rhénanes. Celles-ci sont ainsi souvent très basses, à faible surface terrière et à strate arbustive claire. Les oiseaux inféodés à cette essence sont des espèces de milieux arborés mais ouverts (Torcol fourmilier, Hypolaïs icterine, Pipit des arbres...). Les peupliers sont des essences dites « de lumière », constituant des forêts généralement claires. Les oiseaux semblent ainsi plus dépendants de la structure créée par chacune des principales essences forestières, que par l'essence elle-même.

L'importance du Frêne pour les espèces aviennes est souvent occultée par l'influence des importantes essences forestières feuillues que sont le Chêne et le Hêtre. L'auteur a déjà montré (DENIS, 2001 a) le rôle important du Frêne pour les oiseaux cavernicoles en particulier, qui le préfèrent au Chêne pour leur nidification quand cela est possible (nombreuses cavités naturelles et bois moins dur).

Avifaune et topographie

La superficie du massif forestier est le premier critère établissant des différences entre avifaunes, que ce soit au sein des forêts rhénanes ou dans les forêts de la plaine alsacienne considérées dans leur ensemble. La position géographique sur le gradient Sud-Nord (ou amont-aval) est secondairement importante.

6.1.2. NON ORIGINALITE DES FORETS RHENANES

Pour toutes leurs caractéristiques forestières, les forêts rhénanes sont en partie différentes des autres forêts de la plaine d'Alsace ... mais en partie seulement. Leur avifaune se différencie-t-elle de celle des autres forêts de la plaine alsacienne ?

L'Analyse Factorielle des Correspondances réalisée sur l'ensemble des 399 relevés d'avifaune forestière de la plaine d'Alsace montre (Figure 26 page 63) que ce n'est pas le cas. Moins de 6 % des relevés rhénans sont originaux dans le plan F1 F2 par rapport aux relevés effectués dans les autres massifs (en considérant les relevés rhénans extérieurs aux polygones convexes des relevés non rhénans dans la plan F1 F2 de l'AFC) ; ils sont un

peu plus de 13 % dans le plan F1 F3, l'axe 3 traduisant la présence d'eau. Les massifs de la Hardt et de Haguenau présentent de plus fortes originalités, avec respectivement 20 et plus de 40 % de relevés originaux dans le plan F1 F2.

Ainsi au sein des systèmes forestiers de la plaine d'Alsace, l'avifaune varie selon un *continuum* d'une région forestière à l'autre. Certains compartiments avifaunistiques sont relativement originaux et individualisés, tels les oiseaux d'eau en forêt rhénane, les oiseaux de milieux xériques en forêt de la Hardt, les oiseaux inféodés au Hêtre et aux pinèdes en forêt de Haguenau.

Une comparaison globale des avifaunes des quatre massifs sur la base de l'indice de similarité de Steinhaus montre que 80 % des couples d'oiseaux nicheurs des forêts rhénanes sont identiques à ceux rencontrés dans chacune des trois autres régions forestières (Figure 33). Mais les trois régions forestières non rhénanes montrent des différences plus sensibles entre elles (67 à 74 % de ressemblance en terme de couples nicheurs). Ainsi, les forêts rhénanes occupent une place centrale pour l'avifaune forestière en plaine d'Alsace : à quelques exceptions près (les oiseaux d'eau en particulier), son avifaune « emprunte » à chacune des régions qui lui sont limitrophes. Cette observation est à rapprocher de celle de GLOWACINSKI (1975) qui précise, suite à une étude des successions

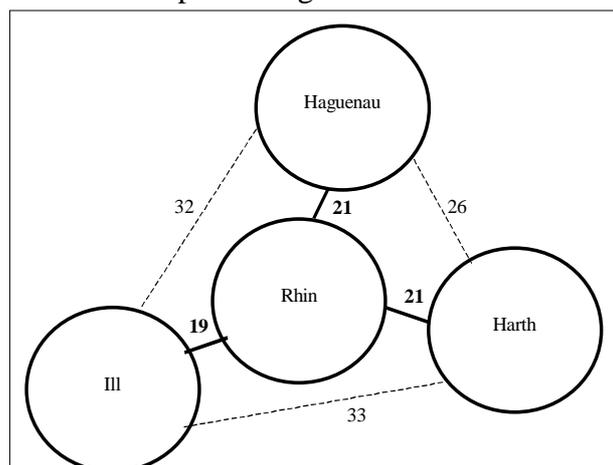


Figure 33 – Distances entre régions naturelles de la plaine d'Alsace sur la base de l'indice de Steinhaus (similarité avifaunistique calculée sur les abondances). La distance est égale à 1 - cet indice.

avifaunistiques le long d'un gradient forestier en Pologne “ *In the forest group the central positions are occupied by communities of the climax habitats and those similar to them.* “ Il précise en particulier que ces « groupes climaciques » sont intermédiaires (centraux) entre (i) les groupes avifaunistiques des clairières et coupes, (ii) ceux des forêts résineuses, et (iii) ceux des « perchis ». Nos observations nous montrent que les forêts rhénanes se présentent, pour l'avifaune, comme un écosystème intermédiaire entre les clairières naturelles de la Hardt Nord, les forêts résineuses / hêtraies de Haguenau, et les futaies uniformes ellanes.

On peut faire l'hypothèse que les forêts rhénanes constitueraient (actuellement, cf. chapitre 6.4) non un biotope intrazonal, mais un écosystème « climacique » (au sens où climax = stade ultime des successions forestières, en équilibre instable et en mosaïque).

On peut faire l'hypothèse que les forêts rhénanes constitueraient (actuellement, cf. chapitre 6.4) non un biotope intrazonal, mais un écosystème « climacique » (au sens où climax = stade ultime des successions forestières, en équilibre instable et en mosaïque).

On peut faire l'hypothèse que les forêts rhénanes constitueraient (actuellement, cf. chapitre 6.4) non un biotope intrazonal, mais un écosystème « climacique » (au sens où climax = stade ultime des successions forestières, en équilibre instable et en mosaïque).

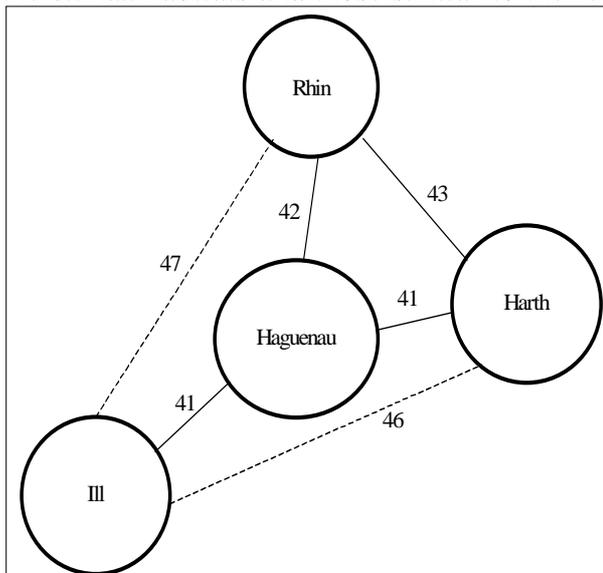


Figure 34 – Distances entre régions naturelles de la plaine d'Alsace sur la base de l'indice de Sørensen (similarité avifaunistique calculée sur les présences). La distance est égale à 1 - cet indice.

La même comparaison effectuée sur les présences / absences des espèces (indice de Sørensen, Figure 34) montre que moins de 50 % des espèces sont présentes à la fois dans deux régions naturelles. L'avifaune du massif de Haguenau est cette fois légèrement moins originale que celle des trois autres régions.

Cette (faible) différenciation des forêts rhénanes surtout en terme d'espèces (et de *turn-over* spatial des avifaunes – cf. plus loin) est à rapprocher des observations du professeur CARBIENER, sans aucun doute l'auteur qui a le mieux analysé la complexité de l'écosystème forestier rhénan, le replaçant en outre dans son contexte. On lit sous sa plume « *l'originalité de la forêt rhénane concerne exclusivement la richesse en espèces et la complexité structurale des synusies de végétaux ligneux* » (CARBIENER, 1970). Il insiste sur le « *pattern* », autrement dit l'hétérogénéité spatiale, associée à la structuration verticale de ces forêts très ouvertes.

Il conclue « *si les forêts tempérées étaient à l'état primaire, la structure de la forêt rhénane apparaîtrait comme un peu moins exceptionnelle* ». En effet selon lui le gestionnaire forestier a uniformisé de longue date les forêts non alluviales, à l'origine bien plus lacunaires et donc bien plus hétérogènes verticalement et horizontalement. Il note depuis les grands travaux de canalisation du fleuve au XIX^{ème} siècle, « *l'intervention humaine traditionnelle, en se substituant [à l'impact du dynamisme fluvial] avait assuré la pérennité de caractéristiques structurales primaires* ».

Nous ne pouvons que souscrire à ces observations. Nous noterons par exemple que l'avifaune de certains secteurs forestiers rhénans, sur les rares levées sèches gravillonnaires à végétation basse et clairsemée – surtout dans la moitié Sud du cours alsacien du fleuve – est étonnement comparable à l'avifaune des chênaies sèches de la Hardt Nord. Nous pouvons tenter une explication sur la base des observations de YON *et al.* (1981) : tandis que le fleuve s'enfonçait au cours de la période post-glaciaire, les grandes superficies de forêts alluviales installées sur la première partie de son cours planitiaire se sont réduites de manière drastique. Les conditions stationnelles sur le glacis du cône de déjection würmien (ici, la Hardt) sont progressivement devenues identiques à celles rencontrées sur les levées sèches intra-rhénanes. La végétation, donc l'avifaune associée, ont évolué parallèlement. On retrouve actuellement dans la Hardt Nord, la plus sèche, une avifaune originale (DENIS, 2004) proche de celle rencontrée sur les rares levées gravillonnaires en forêt rhénane (les travaux de décapage consécutifs au creusement du Grand Canal d'Alsace ont localement recréé artificiellement ces conditions : on y rencontre la même avifaune).

De façon parallèle mais inverse, une conduite identique de peuplements de Frêne en forêt rhénane ou en forêt de l'Ill, produit le même type de hautes futaies assez pauvrement structurées : l'avifaune y est alors la même.

6.2. RICHESSE, DIVERSITE ET PATRIMONIALITE

Par région naturelle

Les forêts rhénanes se distinguent par la présence plus importante que dans les autres forêts de plaine, d'eau, de phragmites, et des essences associées aux milieux humides : peupliers et saules. Le massif de Haguenau est caractérisé par la présence abondante du Hêtre et du Pin sylvestre, quasi absents ailleurs en plaine d'Alsace.

La **diversité** alpha, caractérisant la capacité d'accueil de différentes espèces d'oiseaux en un lieu donné, est la plus faible dans les forêts de l'III, hautes futaies souvent très uniformes et pauvrement structurées. Elle est la plus forte en forêt de Haguenau, où les mélanges d'essences feuillues et résineuses, et les ouvertures créées par la sylviculture, favorisent les lisières internes et la diversité associée. Elle est intermédiaire en forêt rhénane.

L'observation de la richesse au point (diversité alpha) en fonction de la latitude (donc du gradient amont-aval) fait apparaître une zone de forte richesse du Nord du massif de Marckolsheim au massif de Daubensand inclus, en passant par l'île de Rhinau (Figure 35). Ce secteur, hormis le massif de Marckolsheim « pollué » par de grandes étendues de forêts qui ne sont plus vraiment

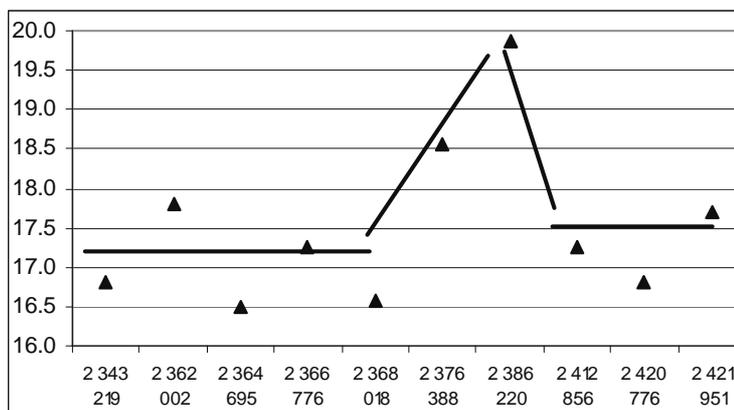


Figure 35 – Richesse moyenne par relevé (en ordonnées) en fonction de la latitude (coordonnées Lambert II étendu, en abscisses) en forêt rhénane.

alluviales, correspond au secteur de plus grande richesse botanique et structurale défini par CARBIENER (1970). La conversion en densités des indices d'abondance ne fait pas apparaître de densité plus forte en oiseaux nicheurs à cet endroit.

La diversité bêta, chiffrant l'intensité du *turn-over* de l'avifaune d'un endroit à un autre, est très élevée en forêt rhénane. La variabilité du milieu rhénan est particulièrement grande : des milieux très ouverts et xériques sur les levées gravillonnaires (proches des milieux de la Hardt Nord) côtoient des saulaies blanches installées dans d'anciens bras en cours d'assèchement (caractéristiques rhénanes) ; de hautes futaies de Frêne (semblables à celles rencontrées dans les forêts de l'III) succèdent à des chênaies parfois proches de celles du massif de Haguenau. En revanche, cette diversité bêta est faible dans les massifs ellans ou de la Hardt, uniformes.

Cette forte diversité bêta conduit les forêts rhénanes à être globalement les plus riches en espèces. Elles présentent en moyenne (sur la base de la comparaison du Jacknife à nombre de relevés égaux) 13 % d'espèces en plus que les autres forêts de la plaine (6 % de plus que la Hardt, 13 % de plus que Haguenau, et 20 % d'espèces supplémentaires que dans les forêts ellanes, pourtant alluviales).

En sommant les notes de **patrimonialité** attribuées à chaque espèce, pondérées par leurs densités, on peut accorder un indice de patrimonialité à l'avifaune de chaque région naturelle. La forêt de la Hardt est, de loin, la région qui se voit attribuer la note la plus élevée (28), en raison surtout de l'abondance du Bruant jaune et de la Tourterelle des bois dans cette région. Les forêts rhénanes arrivent en seconde position, avec la note 22, grâce aux deux mêmes espèces, auxquelles s'ajoute le Pic mar. Les forêts de Haguenau et de

l'III ont les plus faibles indices (notes respectives 18 et 19), en raison de la moindre abondance des espèces sus-citées.

Par essence dominante

Les peupleraies de culture – presque exclusivement rhénanes – sont, malgré leur caractère quasi mono-spécifique, parmi les peuplements présentant la plus forte diversité alpha et les densités en oiseaux nicheurs les plus fortes. L'abandon depuis quelques décennies de la sylviculture de cette essence fait que, à l'heure actuelle, ces peupleraies cultivées sont âgées (vingt-cinq à quarante ans). Les arbres sont à leur maximum de développement, tant en hauteur qu'en diamètre. Leur feuillage clair permet l'expression d'une strate arbustive fournie. Leur proximité obligatoire avec la nappe phréatique autorise souvent le développement de roselières en leur sein même. Ces observations confirment en partie celles de GODREAU (1998) sur le Val de Saône, qui montre que les peupleraies cultivées présentent une diversité en espèces nicheuses plus forte que les forêts alluviales qu'elles remplacent, mais que les espèces proprement forestières y ont des densités moins fortes qu'en forêt alluviale. Mais elles diffèrent de celles de DRONNEAU (1995), qui montre une très grande pauvreté des peupleraies de culture qui contrasterait selon lui avec la richesse des forêts rhénanes. Cet auteur note 3 espèces seulement pour 7 couples nicheurs / 10 ha dans une peupleraie de 20 ans, donc jeune et différente des précédentes. En fait, la comparaison de stades forestiers forts différents rend caduque toute comparaison.

Considérant maintenant les peuplements forestiers présentant une essence dominante, on montre que les frênaies possèdent la plus faible diversité bêta, et les hêtraies la plus forte (Tableau XIX page 61). Les sylvicultures pratiquées sur ces deux essences ont à n'en pas douter un rôle déterminant : les fortes ouvertures créées en hêtraie permettent une hétérogénéité spatiale favorable à la diversité. Les frênaies et les charmaies, à structure très répétitive dans l'espace, présentent la plus faible diversité bêta. Les pinèdes et les chênaies, hétérogènes de part leur feuillage clair et la sylviculture associée, présentent le plus fort *turn-over* de l'avifaune. Ces deux types forestiers présentent, avec les hêtraies, les avifaunes les plus riches en espèces.

Par diamètres

L'étude des relevés par catégories de diamètres, sur la base du diamètre maximal mesuré sur la placette, montre que :

- la richesse au point est très nettement corrélée à cette valeur (Figure 36) ;
- certaines espèces voient leurs densités croître graduellement avec le diamètre : Mésange bleue (Figure 37), Pic vert, Mésange charbonnière ;

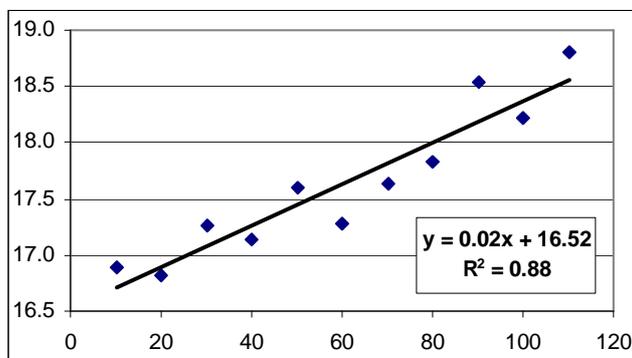


Figure 36 – Richesse spécifique (nombre d'espèces par relevé, en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).

- les densités d’autres espèces croissent en fonction du diamètre, avant de former un plateau : Sittelle torchepot, Troglodyte mignon, Grimpereau des jardins (Figure 38) ;
- quelques espèces sont absentes en deçà d’un certain diamètre, et augmentent régulièrement ensuite : Gobemouche noir par exemple (Figure 39).

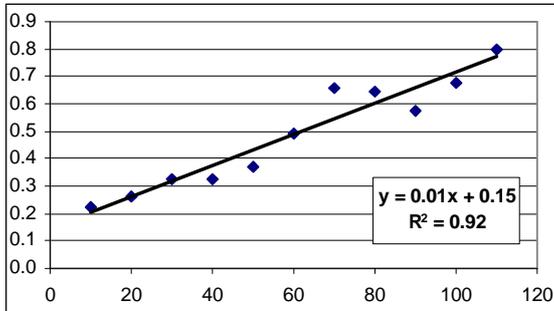


Figure 37 – IPA moyen de la Mésange bleue (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).

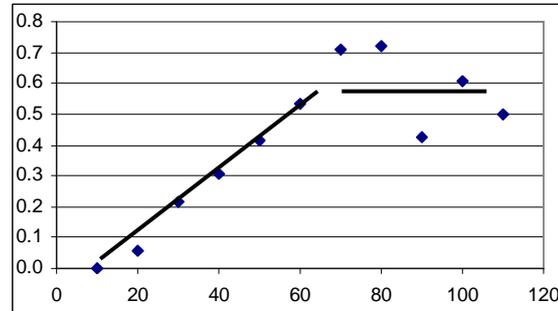


Figure 38 – IPA moyen du Grimpereau des jardins (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).

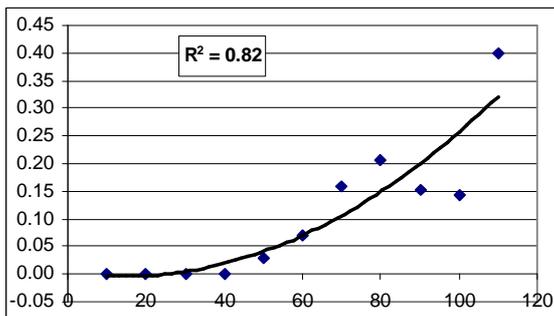


Figure 39 – IPA moyen du Gobemouche noir (en ordonnées) en fonction du diamètre maximal (en cm) mesuré sur la placette (en abscisses).

6.3. LA QUESTION DES DENSITES

Les densités en forêt rhénane

Parmi les arguments scientifiques avancés pour défendre les forêts rhénanes en mettant en avant leur originalité, la grande richesse en oiseaux est souvent mise en premier plan. Force est pourtant de constater le nombre encore insuffisant d’études quantitatives précises de l’avifaune nicheuse de ces forêts. Dans les quarante dernières années, seuls quatre auteurs se sont attachés à l’étude globale de cette avifaune forestière en Alsace : KEMPF *et al.* au tournant des années soixante et soixante-dix (KEMPF 1971, 1972 a, 1976 a), SPÄTH *et al.* au début des années quatre-vingt (SPÄTH *et al.*, 1985), DRONNEAU au début des années quatre-vingt dix (DRONNEAU 1995, 2007), et moi-même au cours des dix dernières années. En incluant des quadrats « isolés », des études réalisées sur la rive allemande, et des rapports non publiés, j’ai relevé quarante-deux quadrats rhénans depuis 1965. Pourtant, les articles faisant le point sur l’avifaune

nicheuse des futures réserves naturelles au cours des années quatre-vingt dix font encore état d'indices semi-quantitatifs d'abondance, non comparables d'une espèce à l'autre : la notion d'espèce « commune » ne recouvre pas la même réalité pour le Grèbe castagneux ou le Pouillot véloce par exemple (Braun *et al.*, 1999 – Buchel *et al.* 1992).

De plus, l'absence de comparaison quantitative avec des milieux extra-rhénaux permet difficilement une mise en perspective des résultats acquis par les auteurs.

Le milieu rhénan est en cours de banalisation sur de grandes superficies, mais sa variabilité est encore grande dans les secteurs où des bras, mêmes « morts », subsistent. J'ai ainsi montré sur un quadrat (DENIS, 2005 a) qu'une densité moyenne de 84 couples / 10 ha mesurée sur 12 ha 80 pouvait cacher en réalité une densité variant de 69 à 102 couples / 10 ha sur 6 à 7 ha, certains secteurs du quadrat étant même vides d'oiseaux nicheurs. A l'aide du Système d'Information Géographique, j'ai pu évaluer à près de 140 couples / 10 ha la densité de certaines parties de ce même quadrat. Mais les très fortes densités correspondent nécessairement à des zones de lisières, la densité totale moyenne en forêt rhénane – comportant de larges plages sans lisières – est obligatoirement inférieure. ZENKER (1980) mesure également des densités fortes variables en forêt rhénane sur la rive germanique : les densités mesurées sur ses quadrats s'étalent de 136 à 78 couples / 10 ha, hors Etourneau sansonnet et Moineau friquet.

Les variations temporelles, très fortes également dans ce milieu en cours de modification, sont traitées au chapitre suivant.

Jusqu'au début des années quatre-vingt dix, les densités relatées dans les diverses publications correspondaient aux **moyennes rencontrées dans les forêts de plaine européennes**. En 1972 par exemple, KEMPF (1972 a, citant une étude de WESTERMANN réalisée en 1968) parle de 72 couples / 10 ha en frênaie-ormaie, qu'il trouve « *très proche du 75 couples / 10 ha, densité d'une forêt moyenne française déterminée en 1968 par FERRY & FROCHOT dans la chênaie de Citeaux en Bourgogne* ». Dans la seule avifaune d'Alsace complète du XX^{ème} siècle, ce même auteur présente pour illustrer « les oiseaux de la forêt originelle rhénane » deux quadrats de 70 et 72 couples / 10 ha, à Rhinau et à Krafft. Il explique que « ... *le caractère forestier des massifs de la forêt rhénane ... limite les peuplements d'oiseaux aux espèces sédentaires ... ou aux premiers oiseaux migrateurs arrivant au tôt printemps (mars)* ». Il trouve de plus fortes densités d'oiseaux nicheurs sur les îles du Rhin (84 et 91 couples / 10 ha) dans des milieux pionniers jeunes, qui accueillent beaucoup de migrateurs tardifs, insectivores. En 1984, les meilleurs ornithologues alsaciens de l'époque (KEMPF C., GRADOZ P., DRONNEAU C., STEIMER F., MULLER Y.), réunis pour écrire le chapitre « Ornithologie » de la très volumineuse Encyclopédie de l'Alsace, mentionnent le chiffre de 72 couples / 10 ha en forêt rhénane. En 1992, dans un article sur « les réserves naturelles des forêts d'Erstein et d'Offendorf », KLEIN *et al.* mentionnent pour la réserve d'Offendorf, 75 couples / 10 ha « *ce qui correspond à la densité moyenne rencontrée dans l'ensemble des massifs forestiers rhénaux* ». Dans le cas d'Erstein, ils précisent « *la forêt ... est d'une densité telle que les oiseaux non forestiers ne peuvent s'y installer* ».

Depuis cette date, une étude est fréquemment prise en référence, souvent sans citation précise car elle n'a été publiée que tout récemment (DRONNEAU, 2007). Ainsi BUCHEL *et al.* (1992) écrivent dans « l'inventaire préliminaire des oiseaux observés dans la réserve naturelle d'Erstein » : « *Le peuplement en oiseaux de la forêt rhénane à bois dur ... est caractérisé par une forte densité globale des nicheurs, de l'ordre de 150*

couples ... sur une surface ... de 10 ha ... la densité en nicheurs peut s'élever jusqu'à 200 couples sur 10 ha localement ».

La compilation de la quarantaine de quadrats rhénans (Figure 40) montre une densité moyenne de 110 couples / 10 ha toutes espèces confondues. Cette valeur s'inscrit dans la partie haute du gradient de densités mesuré par de nombreux auteurs dans les forêts européennes, variant de 40-50 à 130-140 couples / 10 ha.

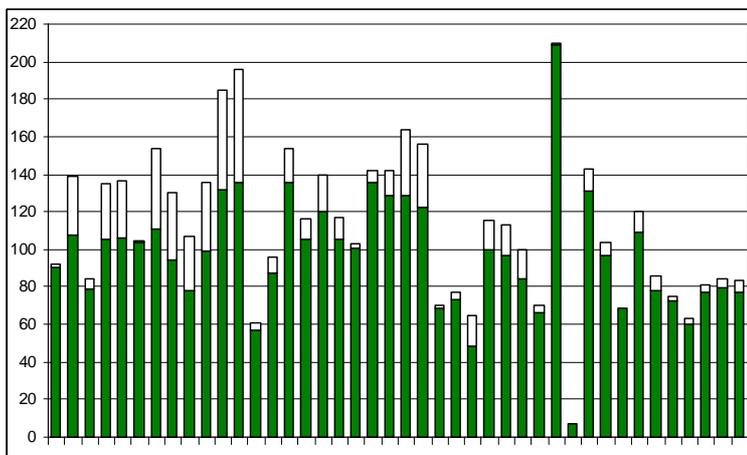


Figure 40 – Densités aux 10 ha relevées dans les quadrats réalisés en forêt rhénane franco-allemande de 1965 à 2005 (ordre chronologique). En blanc, densités cumulées de l'Étourneau sansonnet et du Moineau friquet.

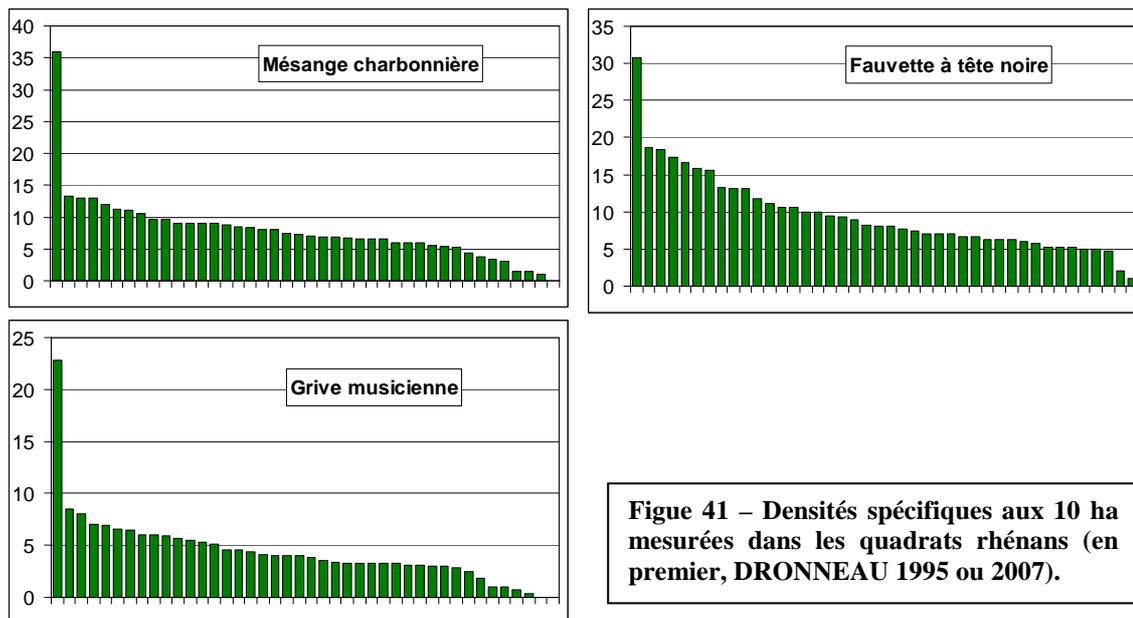
Cette figure appelle les commentaires suivants :

- Étourneau sansonnet et Moineau friquet, espèces grégaires se nourrissant en grande partie hors forêt, peuvent parfois être extrêmement abondants localement, jusqu'à 30 à 60 couples / 10 ha ensemble. Leur évolution historique sera discutée au chapitre suivant ;

- la densité moyenne de ces quadrats est de 95 couples / 10 ha en ôtant les deux espèces précitées. Les maximums atteints généralement dans les milieux les plus riches (130 à 140 couples / 10 ha hors Étourneau sansonnet et Moineau friquet) s'accordent parfaitement avec nos estimations ;

- deux études s'écartent des valeurs moyennes en donnant des valeurs extrêmes : celles de DRONNEAU en 1992 et 1993, qui mesure 210 couples / 10 ha en forêt rhénane mature, mais 7 couples / 10 ha seulement dans une peupleraie cultivée d'une vingtaine d'années.

L'examen de la densité des principales espèces dominantes fait apparaître que les densités maximales estimées pour une espèce donnée en forêts rhénanes semblent atteindre un plateau, une valeur maximale difficilement dépassable. Mais certaines valeurs de DRONNEAU sont doubles, voire plus, que ces valeurs maximales mesurées par plusieurs autres auteurs dans les forêts rhénanes, et semblent peu réalistes (Figure 41). Ainsi, une densité de près de 23 couples de Grive musicienne aux 10 ha conduit à des territoires de 21 mètres de côtés maximum, soit moins que la hauteur d'un arbre, ce qui n'est pas vraisemblable. Rappelons qu'il n'est guère possible, au regard du mode de nourrissage de ces oiseaux en particulier, que ces territoires se chevauchent dans le plan vertical.



Les « records » de densités relevés dans la littérature permettent de resituer les inventaires rhénans dans un contexte plus large. Dans sa thèse, MULLER (1985) recense 92 quadrats dans tous types forestiers en Europe : la moyenne est de 65 couples / 10 ha, le record est de 137 couples / 10 ha mesuré par TOMIALOJC *et al.* (1977) dans une chênaie de Pologne (dont près de 30 couples d'Étourneau sansonnet et de Moineau friquet). Le docteur HOHLFELD (1997) a réalisé de nombreux quadrats dans différents types forestiers du Bade-Württemberg, de la plaine rhénane aux forêts résineuses de la Forêt Noire. Le maximum mesuré est de 151 couples / 10 ha en forêt rhénane, dont 27 couples d'Étourneau sansonnet. Sur une petite superficie de 2 ha étudiée pour l'impact de l'effet lisière dans les Vosges du Nord, MULLER (1999) mesure sa plus forte densité de 132 couples / 10 ha, sans aucune des deux espèces grégaires précitées. Mon maximum personnel est de 102 couples / 10 ha sur 6 ha de forêt rhénane, dont 8 couples d'Étourneau sansonnet. J'évalue (cf. précédemment) à 130 à 140 couples / 10 ha le maximum local sur le secteur considéré. Dans les forêts rhénanes étudiées, cinq quadrats d'auteurs différents présentent des densités totales supérieures à 150, jusqu'à 196 couples / 10 ha. Ils sont tous antérieurs aux années quatre-vingt (cf. chapitre suivant), et une fois retirés Étourneau sansonnet et Moineau friquet, les densités totales s'abaissent à 111 à 136 couples / 10 ha.

Les densités mesurées ou évaluées par différents auteurs au cours des cycles sylvigénétiques permettent d'une part de connaître les maxima « atteignables » sur des superficies conséquentes, et de comprendre dans quels types forestiers on peut les rencontrer. FERRY *et al.* (1970) trouvent 84 couples / 10 ha au deuxième stade de la succession du taillis-sous-futaie. MULLER (1997) trouve 85 couples / 10 ha dans la chênaie-pinède âgée. OGER (1997) trouve dans la Hardt un maximum de 86 à 87 couples / 10 ha en taillis-sous-futaie avec trouées de régénération, ou en chênaie en régénération. GLOWACINSKI (1975) étudiant deux successions végétales en Pologne (dont une en forêt alluviale dans le lit majeur de la Vistule) mesure un maximum de 90 couples / 10 ha dans chacune d'elle, en forêt adulte mais pas toujours en fin de cycle. Ces valeurs sont comparables à celles mesurées en France, avec pourtant d'importantes différences biogéographiques (peu de Fauvette à tête noire en Pologne, beaucoup de Gobemouche à collier etc...). Ces formations ont toutes en commun de posséder des gros arbres à

feuillage clair, espacés. Ces densités s'accordent avec mes résultats de 80 à 85 couples / 10 ha dans plusieurs formations de la plaine alsacienne.

Toutes ces observations convergentes nous conduisent à considérer comme douteux les résultats de DRONNEAU. Il reconnaît lui-même de possibles erreurs : « *Les valeurs exceptionnellement élevées obtenues ... laissent cependant suspecter un biais dû à des doubles comptes* » (DRONNEAU, 2007). Il se base alors sur des comptages sur bandes de largeur fixe et définie (contrairement aux IKA). Mais de tels comptages posent des problèmes de détectabilité imposant des hypothèses lourdes et des calculs complexes non utilisés par cet auteur. Le problème est alors en effet d'évaluer la distance de détection.

Nous pensons comme FERRY *et al.* (1970) que l'appréciation de cette distance « *reste fort imprécise et pratiquement impossible dans des milieux fermésIl s'agit donc de méthodes bâtarde, à la fois linéaires et absolues, dont nous avons redouté, comme BLONDEL ... le manque de précision.* ».

Si les densités totales obtenues par DRONNEAU avec ses comptages sur bandes sont plus conformes à celles obtenues par les autres auteurs, leur analyse montre que les densités des espèces abondantes et à chant puissant – donc difficilement localisables dans l'espace – sont totalement irréalistes (Figure 41).

On peut conclure que l'avifaune actuelle des forêts rhénanes présente une densité moyenne en oiseaux nicheurs de l'ordre de 75 couples / 10 ha. Dans certains peuplements, cette densité est de 80 à 90 couples / 10 ha. Enfin, certaines configurations très particulières et de superficies limitées, avec de nombreuses lisières, peuvent permettre d'atteindre des valeurs records de 130 à 140 couples / 10 ha, correspondant aux plus fortes valeurs mesurées dans les forêts européennes.

Les densités dans les différentes régions naturelles

La faible diversité des forêts de l'Ill ne les empêche pas de présenter les densités globalement les plus fortes des forêts de plaine alsacienne, avec 87 couples / 10 ha, soit 18 % de plus en moyenne qu'en forêt rhénane. Les espèces présentes profitent des dimensions remarquables des arbres en hauteur et en diamètre pour atteindre de très fortes densités. L'Etourneau sansonnet et le Pinson des arbres par exemple y présentent leurs plus fortes densités en plaine d'Alsace, avec en moyenne plus de 14 couples / 10 ha pour le premier et 12,5 pour le second. L'Etourneau sansonnet profite des grands Frênes pour nicher, mais se nourrit quasi exclusivement hors forêt, même en pleine période de reproduction. Ses territoires débordent donc largement ces forêts alluviales. En ôtant cette espèce aux fins de comparaisons, les forêts alluviales du Rhin et de l'Ill ont des densités proches en oiseaux nicheurs, assez élevées (respectivement 70 et 73 couples / 10 ha).

Les grands massifs de la Hardt et de Haguenau présentent des densités voisines et sensiblement plus faibles (65 et 66 couples / 10 ha), soit 11 à 12 % de moins qu'en forêt rhénane.

On notera également que les massifs de la Hardt et de Haguenau retiennent de 8 à 10 % de couples nicheurs appartenant à des migrateurs au long cours, contre seulement 3 % dans les forêts de l'Ill et 5 % en forêt rhénane. Les observations de KEMPF sont en partie confirmées : les forêts rhénanes accueillent relativement peu de migrateurs de retour tardif.

Les densités par essence dominante

Les frênaies et les peupleraies de culture ont les plus fortes densités en oiseaux nicheurs, respectivement 80 et 78 couples / 10 ha. Leurs avifaunes sont d'ailleurs très proches, avec 83 % de couples nicheurs en commun (indices de Steinhaus = 0,83). L'Étourneau sansonnet est deux fois plus abondant en frênaie (9,8 couples / 10 ha) qu'en peupleraie (4,5). Hors cette espèce donc, les peupleraies de culture sont les plus densément peuplées des formations de la plaine d'Alsace.

Les autres formations étudiées présentent des densités assez proches entre elles, moyennes, de 64 à 67 couples / 10 ha.

En restreignant l'étude des chênaies aux formations rhénanes (N=21), leur densité (70 couples / 10 ha) est plus élevée que la moyenne des chênaies de la plaine.

6.4. EVOLUTION DIACHRONIQUE DE L'AVIFAUNE DES FORETS RHENANES

Les quarante-deux quadrats recensés en forêt rhénane sont répartis assez régulièrement tout au long des quarante dernières années. Il est dès lors possible de les analyser par décennie. Pour affiner la description tout en gardant un nombre minimum de quadrats par pas de temps, nous avons eu recours aux décades glissantes avec un pas de cinq ans (Figure 42).

La première observation est la **diminution** constante et assez régulière de la densité totale, qui passe de 129 à 83 couples / 10 ha de la décennie 1970-1980 à la décennie 1995-2005. Malgré la multiplicité des auteurs et un effet observateur probable, la constance et la régularité de cette décroissance ne peut être due au hasard.

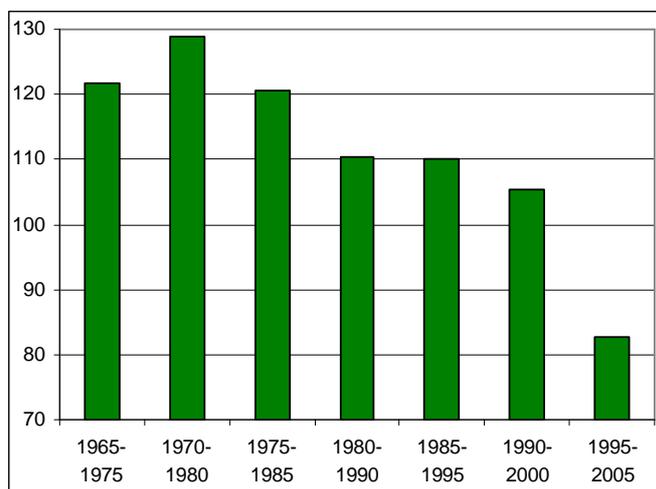


Figure 42 – Moyennes des densités totales aux 10 ha (en ordonnées) obtenues sur les différents quadrats forestiers en forêt rhénane franco-allemande au cours des quarante dernières années (données bibliographiques).

La diminution globale constatée est la conjugaison des différentes tendances spécifiques au cours de cette période : certaines espèces voient leurs effectifs fondre littéralement, alors que d'autres augmentent.

Le nombre suffisamment grand d'inventaires permet l'étude des tendances spécifiques, espèce par espèce (Annexe 2). Les plus fortes diminutions concernent l'Étourneau sansonnet, qui passe de 19,2 à 5,5 couples / 10 ha en moyenne de la décennie soixante-dix à la décennie quatre-vingt dix, du Moineau friquet (de 6,5 à ... zéro), de l'Accenteur mouchet (de 4,2 à 0,5), de la Mésange bleue (7,9 à 4,1), du Pigeon ramier (4,4 à 1,6). D'autres espèces diminuent sensiblement : Canard colvert, Gobemouche gris, Mésange boréale, Pouillot fitis, Rossignol philomèle, Verdier d'Europe.

Certaines espèces disparaissent même complètement des inventaires au cours de la période considérée : Blongios nain, Bouvreuil pivoine, Grive draine*, Hibou moyen-duc, Hypolaïs icterine*, Perdrix grise, Pics cendré et vert*, Pipit des arbres*, Pouillot siffleur*, Râle d'eau, Rousserolle turdoïde, Serin cini, Tarier pâtre (et Moineau friquet*) [* : espèces toutefois encore rencontrées à très faibles densités en forêt rhénane]

Plusieurs espèces de milieux ouverts, semi-ouverts ou de lisières présentent une même courbe « en U » : après une diminution, voire une disparition totale des inventaires au début des années quatre-vingt dix, elles retrouvent (pour certaines partiellement) leurs effectifs : Bruant des roseaux, Chardonneret élégant, Fauvettes des jardins et grisettes, Locustelle tachetée, Pie bavarde, Rousserolles effarvates et verderolles.

Les espèces présentant les plus fortes augmentations de la décennie soixante-dix à la décennie quatre-vingt dix sont le Pinson des arbres (dont les densités passent en moyenne de 5,6 à 14,2 couples / 10 ha), la Fauvette à tête noire (de 6,3 à 14,7), le Grosbec cassenois, le Bruant jaune et le Roitelet à triple bandeau.

Enfin, certaines espèces, absentes en début de période, apparaissent dans les inventaires récents : Gobemouche noir, Grimpereau des bois, Martin-pêcheur d'Europe, Mésange nonnette, Pic mar.

Ces évolutions spécifiques sont le résultat à la fois des **modifications du milieu rhénan** depuis 40 ans, et des changements des populations d'oiseaux à plus grande échelle.

Les années 1930 à 1970 ont vu se réaliser de grands travaux ayant eu un impact direct sur les forêts rhénanes : l'ouverture du Grand Canal d'Alsace dans le Haut-Rhin, puis la création des barrages en dérivation puis au fil de l'eau dans le Bas-Rhin. Ces créations d'immenses surfaces en eau, favorables aux oiseaux d'eau hivernants (ANDRES *et al.*, 1994), ont été réalisées au détriment de surfaces encore plus grandes de forêts rhénanes (digues, chemins de halage, usines hydro-électriques, ouverture de « carrières » ou accumulation de remblais colossaux selon les endroits). Ces modifications profondes ont encore accentué la déconnexion entre le fleuve et ses bras principaux et secondaires, entamée depuis les premiers grands travaux d'endiguement du XIX^{ème} siècle. La rupture de la dynamique alluviale était consommée. Ces travaux ont dans un premier temps créé d'immenses surfaces nues, qui se sont d'abord enfrichées (landes sèches, saulaies basses ...) puis boisées.

Parallèlement, la gestion des espaces forestiers a évolué : (i) création de réserves naturelles intégrales, favorisant le vieillissement et le grossissement des arbres, mais aussi – dans un premier temps encore actuel du moins – la fermeture de la canopée, (ii) gestion forestière publique tournée vers la sylviculture par petits bouquets après abandon des grandes coupes, favorisant là aussi la fermeture globale des peuplements (qui restent malgré tout parmi les plus ouverts d'Alsace de part les essences constitutives). D'autres réserves mises en place par l'ONF (réserves biologiques, parfois intégrales) ont contribué à cette évolution.

On observe que diminuent, voire disparaissent, des oiseaux d'eau (Blongios nain, Râle d'eau), des espèces de milieux ouverts (Perdrix grise, Rossignol philomèle, Verdier

d'Europe), et qu'inversement apparaissent, ou augmentent, des espèces forestières liées aux parcelles d'arbres âgés (Mésange nonnette, Pic mar, Grimpereau des bois).

Certaines évolutions s'expliquent par un **contexte global** : par exemple le Moineau friquet, dont les populations ont drastiquement diminué partout en Europe ; ou le Pouillot siffleur, qui augmente ses populations (fermeture des milieux) puis disparaît (quasi) complètement parce que ses populations s'effondrent par ailleurs.

Globalement, la tendance notée à partir des résultats du programme de Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC-capture, JULLIARD *et al.*, 2005) de banalisation des avifaunes, par diminution des espèces spécialistes et augmentation des espèces ubiquistes, est constatée en forêt rhénane : le Pinson des arbres et la Fauvette à tête noire voient leurs populations très fortement augmenter.

Afin de mettre en perspective l'évolution des populations d'oiseaux forestiers rhénans, une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée (Figure 43) à partir :

- des densités moyennes issues des inventaires par quadrats, décade par décade,
- et des densités obtenues sur les quatre régions naturelles de la plaine d'Alsace à partir de la conversion des ipa moyens en densités absolues dans le cadre de ce travail.

L'avifaune rhénane des années soixante-dix est totalement différente des autres avifaunes forestières de la plaine : elle est isolée sur le premier axe de l'AFC, qui traduit 51 % de la variabilité. Cette avifaune se modifie graduellement mais rapidement pour se rapprocher de l'avifaune forestière rhénane actuelle.

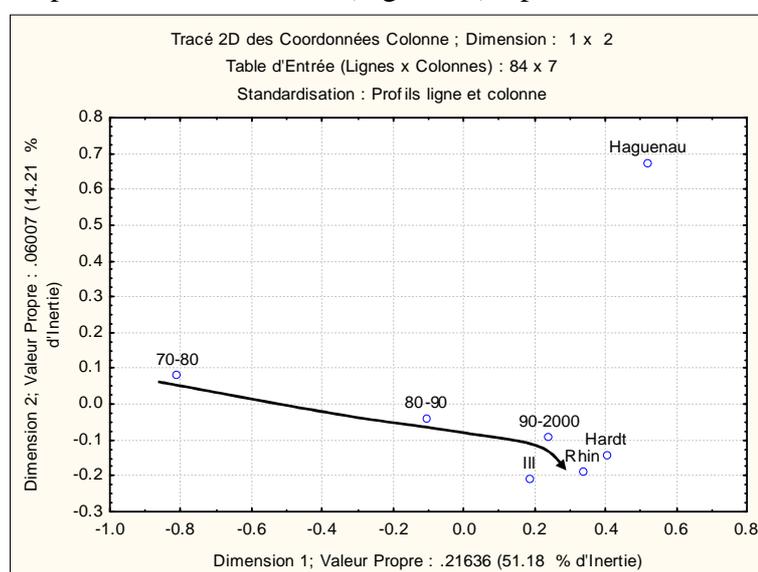


Figure 43 – AFC sur les densités en oiseaux nicheurs en forêt rhénane d'une part à partir des données bibliographiques moyennes par décade (70-80, 80-90, 90-2000), d'autre part à partir des IPA de l'auteur convertis en densités (présente étude). Plan F1 F2.

Ce graphique appelle trois remarques :

- l'avifaune forestière rhénane **était** originale au sein des écosystèmes forestiers de la plaine d'Alsace ;
- cette avifaune s'est rapidement **banalisée** pour se rapprocher des autres avifaunes forestières de la plaine ;
- les résultats issus de nos ipa transformés en densités sont cohérents avec l'ensemble des relevés des autres auteurs.

Les espèces qui rendent originales l'avifaune rhénane des années soixante-dix sont éloignées du centre de gravité du nuage de point sur les valeurs négatives de l'axe 1. Il s'agit par ordre décroissant des espèces suivantes : Blongios nain, Perdrix grise, Râle d'eau, Rousserolle turdoïde, Gallinule Poule d'Eau, Héron cendré (?), Rougequeue noir, Faucon hobereau, Milan noir, Grive draine, Hypolaïs ictérine, Faisan de Colchide, Pie bavarde, Hibou moyen-duc, Faucon crécerelle, Moineau friquet, Tarier pâtre, Foulque macroule ...

Ces profondes transformations de l'avifaune forestière rhénane sont le résultat de la banalisation des milieux rhénans.

Le milieu rhénan est à l'origine extrêmement variable. Les bras du fleuve, en rajeunissant brutalement des pans entiers de forêt mature, créaient les conditions de cette variabilité : des secteurs de vieux bois côtoyaient des grèves partiellement exondées, des saulaies basses et des zones en maturation. Les lisières intra-forestières étaient nombreuses. Cette dynamique fluviale n'existe plus depuis les grands travaux de régulation du fleuve (SCHNITZLER-LENOBLE, 2007), dont les derniers datent des années soixante-dix. Les forêts rhénanes perdent leur originalité, par disparition des essences caractéristiques (Chêne pédonculé, grands saules, peupliers, et Orme suite à la graphiose) remplacées en particulier par les frênes et les érables en futaies uniformes. La forte diminution des surfaces de milieux humides (roselières et saulaies basses en particulier) contribuent également à cette banalisation.

La baisse de la densité totale, résultante des évolutions spécifiques de l'ensemble des oiseaux habitant les forêts rhénanes, est à la fois une conséquence de cette banalisation des milieux (l'avifaune des forêts rhénanes est actuellement proche de l'avifaune des forêts de l'Ill ou de la Hardt), et de l'évolution des populations d'oiseaux (où l'on constate là aussi une certaine banalisation).

Le caractère original en plaine d'Alsace de l'avifaune du massif de Haguenau tient à son caractère sub-montagnard, ou plus exactement « nordique ». Poste avancé vers le Sud des vastes chênaies-pinèdes de la grande plaine nord-européenne, cette forêt permet l'existence d'une avifaune particulière. Son immensité contribue également à sa particularité.

7. CONCLUSION

Les forêts rhénanes suscitent l'intérêt des naturalistes depuis longtemps. Les études du professeur CARBIENER au tournant des années soixante et soixante-dix, décrivant ces forêts alluviales comme de véritables « jungles tempérées » (CARBIENER, 1970) n'ont fait que renforcer leur place dans l'imaginaire naturaliste collectif. Les combats menés par les écologistes dans les années soixante-dix pour défendre les derniers lambeaux de ces remarquables écosystèmes contre l'appétit des industriels (et des forestiers) ont encore renforcé le sentiment d'extrême originalité de ces forêts.

Mais cette originalité correspond à une période révolue. La mise en perspective historique des inventaires ornithologiques réalisés par des méthodes absolues depuis 40 ans montre que l'avifaune des forêts rhénanes s'est profondément modifiée. Certaines espèces ont vu leurs populations s'effondrer, voire ont complètement disparues. D'autres se sont maintenues, ou ont suivi des parcours non linéaires. D'autres enfin ont augmenté leurs populations pendant cette période.

Le bilan global est la perte de près de 30 % des effectifs nicheurs, et une banalisation certaine. Les espèces disparues sont des espèces spécialistes, soit des milieux humides (roselières ...) soit de milieux ouverts secs. Les espèces qui profitent des changements sont des ubiquistes, ou des espèces liées aux forêts relativement matures.

L'avifaune forestière des forêts du lit majeur du Rhin est aujourd'hui très proche de celle des autres forêts de la plaine alsacienne. **Elle n'est plus intra-zonale.** La perte progressive du caractère alluvial de ces forêts en est la raison majeure. Le fleuve endigué, barré, dompté, a perdu de son dynamisme. Les phases de crue, à l'origine d'épisodes de rajeunissement créant de l'hétérogénéité, et moteur principal des cycles sylvigénétiques alluviaux favorables à la diversité de l'avifaune, se font rares et moins violents.

Le maintien de bras d'eau internes à ces forêts alluviales rhénanes, même s'ils sont souvent déconnectés du fleuve, permet quand même à certaines espèces d'oiseaux d'eau de maintenir un restant d'originalité avifaunistique. Ces forêts se distinguent aussi par leur forte diversité bêta, autrement dit par leur hétérogénéité spatiale permettant un important *turn-over* des espèces d'oiseaux d'un point à un autre. Ce facteur permet à l'avifaune d'être ici la plus riche en nombre d'espèces, devant nettement les autres forêts de la plaine alsacienne. En revanche la densité de son avifaune, toutes espèces confondues, n'est pas supérieure : les hautes futaies ellanes – également alluviales – sont plus densément peuplées en oiseaux nicheurs. En exceptant l'Etourneau sansonnet, les deux types de forêts alluviales présentent des densités totales proches. Elles restent toutefois un peu différentes par les densités de leurs espèces respectives.

Une examen biogéographique rapide du continent européen fait ressortir que les forêts alluviales en situation comparable sont rares : grande vallée alluviale, fleuve péri-alpin à régime fluvio-nival, étage collinéen, climat semi-continentale, ne se retrouvent que sur le cours du Danube aux alentours de Vienne en Autriche, et sur deux de ses affluents en Slavonie (Croatie) : la Save et la Drave.

L'étude de plusieurs dizaines d'inventaires (en particulier FUXA, 1994 – KOLLAR & SEITER, 1989 et 1990 – ZWICKER, 1983 et 1987) réalisés il y a une vingtaine d'années

dans les forêts alluviales du Danube (classées actuellement en grande partie en parc national) révèle que la densité totale y est en moyenne de 100 couples / 10 ha, quand elle est sur le Rhin à la même époque de 110 couples / 10 ha. L'ordre de grandeur de la densité totale est identique, les espèces principales sont les mêmes – les espèces dominantes sont dans ces forêts autrichiennes par ordre décroissant la Fauvette à tête noire, le Pinson des arbres, la Mésange charbonnière, le Pouillot véloce, le Rougegorge familier et la Mésange bleue – malgré des différences dues à la situation géographique (présence non négligeable de Gobemouche à collier *Ficedula albicollis* et d'Hypolaïs icterine *Hipolais icterina*).

Il serait sans aucun doute instructif de poursuivre les comparaisons, en particulier historiques, de ces forêts, en gardant à l'esprit que les oiseaux sont de remarquables bio-indicateurs. Nous espérons avoir montré qu'ils peuvent permettre de suivre finement les évolutions du milieu, et ce d'autant plus que l'on considère les communautés aviennes dans leur globalité et non les espèces séparément.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRES C., DRONNEAU C., MULLER Y., SIGWALT P., 1994 – L'hivernage des oiseaux d'eau en Alsace – *Ciconia* 18 : 1-255.
- BLONDEL J., 1995 – Biogéographie et écologie – Masson, Paris.
- BLONDEL J., FERRY C., FROCHOT B., 1970 – La méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (I.P.A.) ou des relevés d'avifaune par « stations d'écoute » - *Alauda* 38 : 55-71.
- BRAUN C., DRONNEAU C., KLEIN J.P., 1993 - Inventaire des oiseaux de la Réserve Naturelle de l'île de Rhinau (Bas-Rhin, France) - *Bulletin de l'association philomathique d'Alsace et de Lorraine*, Tome 29 : 73-90.
- BUCHER E., DRONNEAU Ch., STEIMER F., KLEIN J.P., SIGWALT Ch., 1992 – Premier inventaire des oiseaux observés de la réserve naturelle d'Offendorf (Bas-Rhin, France) - *Bulletin de l'Association Philomatique d'Alsace Lorraine*, N° 28 : 79-91.
- BUCHER E., DRONNEAU Ch., STEIMER F., KLEIN J.P., SIGWALT Ch., 1993 - Inventaire préliminaire des oiseaux observés dans la réserve naturelle d'Erstein (Bas-Rhin, France) - *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Colmar*, N° 61 : 101-111.
- BRAU-NOGUE C., 1996 – Dynamique des pelouses d'alpages laitiers des Alpes du Nord externes – Thèse de doctorat, université Joseph Fourier de Grenoble, 211 p.
- CARBIENER R., 1970 – Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe occidentale : la forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé rhénan (*Fraxino – Ulmetum* Oberd. 53). Intérêt écologique et biogéographique. Comparaison à d'autres forêts thermophiles – *Vegetatio Acta-Geobotanica* Vol. XX, 18-III-1970, Fasc. 1-4 : 97-148.
- Centre d'Etudes Ornithologiques d'Alsace, 1989 – Livre rouge des oiseaux nicheurs d'Alsace – *Ciconia*, 13 numéro spécial : 312 p.
- Conservatoire des Sites Alsaciens, Office National des Forêts (coord.), 2004 – Référentiel des habitats reconnus d'intérêt communautaire de la bande rhénane : description, états de conservation et mesures de gestion – Rapport non publié, Programme LIFE Nature de conservation et restauration des habitats de la bande rhénane, 158 p.
- DENIS P., 2000 – Restauration d'anciens bras du Rhin, communes de Artzenheim, Baltzenheim, Kunheim, Biesheim : étude de l'avifaune – Rapport non publié, ONF, programme InterReg II Haut-Rhin, 27 p.
- DENIS P., 2001 a – Etude de l'avifaune nicheuse d'une frênaie – chênaie en plaine d'Alsace. Quelques observations relatives aux oiseaux cavernicoles – *Ciconia* 25 (3) : 231-242.
- DENIS P., 2001 b – Etude de la faisabilité de la restauration de la fonctionnalité alluviale du massif forestier de Mackenheim-Schoenau : étude de l'avifaune – Rapport non publié, ONF, programme InterReg II Bas-Rhin, 28 p. + annexes.
- DENIS P., 2003 a – L'avifaune nicheuse du Niederwald de Colmar – *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar*, Vol. 65 : 103-116.
- DENIS P., 2003 b – Restauration du massif alluvial de La Wantzenau : étude de l'avifaune – Rapport non publié, ONF, Commune de La Wantzenau, programme Life Rhin Vivant, 33 p. + annexes.
- DENIS P., 2004 – Une avifaune forestière originale dans les forêts sèches de la Hardt nord ; regards sur le Rossignol philomèle et le Pouillot fitis – *Bulletin de l'Association Philomatique d'Alsace et de Lorraine*, Tome 39 : 9-20.

- DENIS P., 2005 a – Conservation de la richesse écologique des forêts rhénanes : étude de l'avifaune des réserves intégrales par cartographie des territoires – Rapport non publié, ONF, programme InterReg III, 23 p. + annexes.
- DENIS P., 2005 b – Influence du milieu forestier sur l'avifaune dans les forêts rhénanes françaises de Marckolsheim à Daubensand (67) – Rapport non publié, ONF, programme InterReg III, 38 p. + annexes.
- DENIS P., 2006 – Une méthode d'évaluation patrimoniale de l'avifaune d'après un exemple en forêt rhénane – *in* Rendez-vous Techniques de l'ONF n°12 : 64-68.
- DENIS P., 2007 – L'avifaune nicheuse de la réserve biologique de la forêt indivise de Haguenau – Rapport non publié, ONF, 13 p. + annexes.
- DENIS P., 2008 – Les pics dans les forêts d'Alsace : essai de synthèse - *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar*, Vol. 68 : 39-68.
- DENIS P. HOHLFELD F., 2004 – Avifaune et structure forestière en forêt rhénane franco-allemande / Vogelwelt und Waldstruktur in den deutsch-französischen Rheinauen – Rapport non publié, ONF / FVA Freiburg, programme InterReg III, 21 p. + 35 p. + annexes.
- DENIS P., HOHLFELD F., 2005 – Relation avifaune / structure des peuplements forestiers : cas des forêts rhénanes – *in* Dynamique et gestion des forêts alluviales déalpines, colloque ONF/FVA Colmar 8 et 9 novembre 2005.
- DENIS P., HOHLFELD F., HAUSCHILD R., 2006 – Vogelwelt und Waldstruktur in den Auen am Oberrhein / Avifaune et structure forestière en plaine rhénane du Rhin supérieur – *Waldschutzgebiete Baden-Württemberg*, 10 : 117-146.
- DRONNEAU C., 1995 – Etude de la densité des oiseaux nicheurs forestiers des réserves naturelles d'Erstein et d'Offendorf – Rapport non publié, CSA, 21 p. + annexes.
- DRONNEAU C., 2007 a – Peuplement d'oiseaux nicheurs d'une forêt alluviale du Rhin (première partie) – *Alauda* 75 (3) : 215-226.
- DRONNEAU C., 2007 b – Peuplement d'oiseaux nicheurs d'une forêt alluviale du Rhin (deuxième partie) – *Alauda* 75 (4) : 373-388.
- FERRY C., 1969 – Pour une normalisation des résultats de dénombrements d'oiseaux : le symposium d'Amarnäs – *Le Jean-le-Blanc* (1/2) : 25-29.
- FERRY C., 1976 – Un test facile pour savoir si la richesse mesurée d'un peuplement se rapproche de sa richesse réelle – *Le Jean-le-Blanc*, tome XV (1/2) : 21-28.
- FERRY C., FROCHOT B., 1958 – Une méthode pour dénombrer les oiseaux nicheurs – *La Terre et la Vie* 105,2 : 85-102.
- FERRY C., FROCHOT B., 1970 – L'avifaune nidificatrice d'une forêt de Chênes pédonculés en Bourgogne : étude de deux successions écologiques – *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 24 : 153-250.
- FLADE M., 1994 – Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands : Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlichen Daten in der Landschaftsplanung – *Eching IHW-Verl.*, 855 p.
- FROCHOT B., FAIVRE B., GODREAU V., ROCHE J., 2003 – Des oiseaux dans la ripisylve – *in* Les forêts riveraines des cours d'eau, par PIEGAY H., PAUTOU G., RUFFINONI C., pp 156-168.
- FROELICH B., 1977 – Brutvogel-Bestandsaufnahmen im Naturschutzgebiet « Hördter Rheinaue » - *Mitt. d. Pollichia* 65 : 105-144.
- FUXA H., 1994 – Brutvogeluntersuchungen in Waldflächen der Regelsbrunner Au im Jahr 1994 – source inconnue : 5-8.
- GLOWACINSKI Z., 1975 – Succession of bird communities in the Niepolomice Forest (Southern Poland) – *Ekologia Polska* 23 (2) : 231-263.

- GODREAU V., 1998 – Impact des changements d'occupation des sols et de la populiculture sur les peuplements aviens et floristiques en plaine alluviale. Exemple du Val de Saône inondable – *Thèse Université de Bourgogne*.
- GUERIN B., 2003 – Dénombrement des oiseaux nicheurs en forêt alluviale rhénane. Réserve Intégrale de la forêt domaniale de Marckolsheim – Rapport non publié, ONF, 5 p.
- GUERIN B., 2004 – Dénombrement des oiseaux nicheurs en forêt alluviale rhénane. Réserve Intégrale de la forêt domaniale de Daubensand – Rapport non publié, ONF, 6 p.
- HEYBERGER M., KEMPF C., 1971 – Contribution à l'étude des petits passereaux nicheurs sur l'île du Rhin – *Lien Ornithologique d'Alsace.*, N° 17 : 4-15.
- HOHLFELD F., 1997 - Vergleichende ornitologische Untersuchungen in je sechs Bann- und Wirtschaftswäldern im Hinblick auf die Bedeutung des Totholzes für Vögel - *Ornithol. Jahreshfte Baden-Württ.* 13 : 1-127.
- International Bird Census Committee, 1969 – Recommendations for an international standard for a mapping method in bird census work – *Bird study* 16 : 248-255.
- ISENMANN P., 1987 – Une densité remarquable de chanteurs de Pouillots fitis (*Phylloscopus trochilus*) en Alsace – *Ciconia*, 11 : 23-27.
- JULLIARD R., JIGUET F., 2005 – Statut de conservation en 2003 des oiseaux communs nicheurs en France selon 15 ans de programme STOC – *Alauda* 73 (4) : 345-356.
- KEMPF C., 1971 – Les oiseaux des îles du Rhin (Kembs, Ottmarsheim, Fessenheim, Vogelgrün) – *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse* 745 : 81-100.
- KEMPF C., 1972 a – Les oiseaux nicheurs de la forêt du Rhin – *Le Jean-le-Blanc*, 11 : 63-68.
- KEMPF C., 1972 b – Les oiseaux nicheurs, migrateurs et hivernants d'Alsace – *Saisons d'Alsace*, N° 42 : 206-221.
- KEMPF C., 1976 a – Oiseaux d'Alsace – Ed. Istra, Strasbourg, 231 p.
- KEMPF C., 1976 b – Forêts vivantes. Quelques traits d'écologie des oiseaux et des mammifères forestiers – *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse* n° 765 (4) : 31-39.
- KEMPF C., GRADOZ P., DRONNEAU C., STEIMER F., MULLER Y., 1984 – Ornithologie – *Encyclopédie de l'Alsace* (Publitotal, Strasbourg), Vol. 9 : 5709-5726.
- KLEIN J.P., CARBIENER R., STEIMER F., TRENDEL J.M., 1992 – Les réserves naturelles des forêts alluviales rhénanes d'Erstein et d'Offendorf : un patrimoine biologique européen - *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, N° 824 : 21-58.
- KOENIG P., 1992 – La faune du delta de la Sauer - *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, N° 824 : 221-229.
- KOENIG P., 2002 – Restauration du massif alluvial d'Offendorf : étude de l'avifaune des bras d'eau du massif forestier d'Offendorf – Rapport non publié, Commune d'Offendorf, Station Ornithologique de Munchhausen, programme Life Rhin Vivant, 25 p.
- KOLLAR H.P., SEITER M., 1989 – Biotopstruktur und Vogelavifauna in den Donauauen östlich von Wien – *Institut für angewandte Öko-Ethologie*, 43 p. + annexes.
- KOLLAR H.P., SEITER M., 1990 – Die Vogelwelt einer forstlich-biologischen Versuchsfläche in den Donau-Auen östlich von Wien, Teil I : Kommentierte Artenliste – *Wiss. Mitt. Niederösterr. Landesmuseum* 7 : 301-338.
- L.P.O. Alsace, 2000 – Inventaire de l'avifaune de la réserve naturelle du Rohrschollen à Strasbourg – Rapport non publié, Ville de Strasbourg, M.A.T.E., 51 p.+ annexes.
- L.P.O. Alsace, 2002 – Restauration du massif alluvial d'Offendorf : inventaire de l'avifaune – Rapport non publié, Commune d'Offendorf, programme Life Rhin Vivant, 54 p. + annexes.

- L.P.O. Alsace, 2003 – Restauration de l'Altenheimerkopf en forêt communale de Strasbourg-Neuhof : étude de l'avifaune – Rapport non publié, programme Life Rhin Vivant, Commune de Strasbourg, 35 p. + annexes.
- LABHARDT A., 1979 – Les oiseaux nicheurs des bras morts du Rhin et du canal de Kembs. Les modifications dans la répartition des espèces - *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, N° 775 : 73-78.
- LACOUMETTE P., 1976 – Richesses naturelles des forêts rhénanes – *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, N° 765 : 177-184.
- MULLER Y., 1985 - L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio-européen. *Thèse de doctorat*, Université de Dijon : 138p.
- MULLER Y., 1986 - Ecologie des oiseaux nicheurs de la forêt de Haguenau (Alsace). Comparaison des peuplements aviens de quatre formations boisées âgées - *Ciconia* 10 (2) : 69-90.
- MULLER Y., 1987 – Les recensements par Indices Ponctuels d'Abondance (I.P.A.) : conversion en densités de populations et test de la méthode – *Alauda* 55 (3) : 211-226.
- MULLER Y., 1999 - Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers des Vosges du Nord, VII : Etude de l'effet de lisière - *Ciconia* 23 (2), 1999 : 51-75
- MULLER Y., 2000 – Bibliographie d'ornithologie alsacienne – *Ciconia*, 24 : 702 p.
- ODONAT (Coord.), 2003 – Les listes rouges de la nature menacée en Alsace – Collection Conservation, Strasbourg, 479 p.
- OGER S., 1997 – Dépérissement forestier en vallée du Rhin. Etude de l'avifaune nicheuse (Forêt domaniale de la Harth, Haut-Rhin) – Rapport non publié, ONF / Observatoire écologique de la Harth, Centre de recherches forestières de Fribourg, 29 p. + annexes.
- PARADIS E., 2005 – R pour les débutants - URL : http://www.r-project.org/doc/contrib/Paradis-rdebuts_fr.pdf
- POUGH R.H., 1950 – Comment faire un recensement d'oiseaux nicheurs – *La Terre et la Vie* 97,4 : 203-217.
- PRODON R. (1993) - Une alternative aux "types biogéographiques" de Voous : la mesure des distributions latitudinales - *Alauda*, 62 : 83-90.
- PRODON R., LEBRETON J.D., 1981 – Breeding avifauna of a Mediterranean succession : the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees, 1. Analysis and modelling of the structure gradient.- *Oikos*, 37 : 21-38.
- PRODON R., LEBRETON J.D., 1994 – Analyses multivariées des relations espèces-milieu – *Vie Milieu*, 44 (1) : 69-91.
- R Development Core Team, 2005 – R : a language and environment for statistical computing. -R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL : <http://www.r-project.org>
- RITTER G., 1996 - Dénombrement de l'avifaune nicheuse d'une chênaie sèche clairière de la forêt domaniale de la Harth (Haut-Rhin) - *Ciconia* 20 (2) : 93-109.
- ROCAMORA G., YEATMAN-BERTHELOT D., 1999 – Oiseaux menacés et à surveiller en France. Listes rouges et recherche de priorités. Populations. Menaces. Conservation – *Société d'Etudes Ornithologiques de France / Ligue pour la Protection des Oiseaux*, Paris, 560 p.
- ROCHE J., 1995 – Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de l'Allier sur l'ensemble de son cours ; de l'écologie à la conservation – Rapport non publié, Ministère de l'Environnement / Université de Bourgogne, 64 p. + annexes.
- SCHNITZLER-LENOBLE A., 2007 – Forêts alluviales d'Europe. Ecologie, Biogéographie, Valeur intrinsèque – Ed. Tec et Doc, Paris, 387 p.

- SPÄTH V., GERKEN B., 1985 – Vogelwelt und Waldstruktur : die Vogelgemeinschaften badischer Rheinauenwälder und ihre Beeinflussung durch die Forstwirtschaft – *Ornithologische Jahreshefte für Baden-Württemberg*, 1 : 7-55.
- TOMIALOJC L., PROFUS P., 1977 – Comparative analysis of breeding bird communities in two parks of Wroclaw and in an adjacent Querco-Carpinetum forest – *Acta oithologica* 16 : 117-177.
- ULLRICH T., 2001 – Avifaunistische Untersuchungen im Bannwald „Weissweiler Rheinwald“, ein Beitrag zur Ermittlung von Leitarten für strukturreiche Wälder in der Oberrheinaue – in *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung*, Nr. 41 : 45-55.
- WALTER J.M.N., 1974 – Les dernières forêts alluviales rhénanes en Alsace – Bade – *Bulletin de l'Association Philomathique d'Alsace – Lorraine* 15 : 101-112.
- WESTERMANN K., SAUMER F., 1970 – Die Vögel des Landschaftsschutzgebietes „Taubergiessen“ und einiger angrenzender Gebiete – *Mitteilungen des badisches Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz*, N.F. 10 : 375-415.
- WESTERMANN K., SAUMER F., 1974 – Die Vögel des Landschaftsschutzgebietes „Taubergiessen“ und einiger angrenzender Gebiete – *Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württemberg*, Band 7 : 591-628.
- YON D., TENDRON G., 1981 – Les forêts alluviales en Europe, éléments du patrimoine naturel international – *Collection „Sauvegarde de la nature“ du Conseil de l'Europe*, n° 22.
- ZENKER W., 1980 – Untersuchungen zur Siedlungsdichte der Vögel in einem naturnahen Eichen-Ulmen-Auenwald im Erfttal (Naturschutzgebiet Kerpener Bruch) – *Gesellschaft Rheinischer Ornithologen*, Düsseldorf, 140 p.
- ZWICKER E., 1983 – Untersuchung der Vogelwelt der Lobau im Hinblick auf eine ökologische Bewertung des Gebietes – *Naturhist. Mus. Wien* : 41 p.
- ZWICKER E., 1987 – Kartierung des Vögel und Froschlurche in den rechtsufrigen Donauauen nordwestlich und südöstlich von Wien – *Naturhist. Mus. Wien* : 59 p.

ANNEXES

1. Inventaires ornithologiques dans les forêts rhénanes franco-allemandes
2. Evolution historique de quelques espèces rhénanes
3. Synthèses spécifiques : les espèces d'oiseaux des forêts de la plaine d'Alsace

ANNEXE 1

Inventaires ornithologiques dans les forêts rhénanes franco-allemandes

ANNEXE 1 – Inventaires quantitatifs d'avifaune dans les forêts rhénanes franco-allemandes

en densités aux 10 ha

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
Accenteur mouche	1,4	5,5	0,0	5,0	4,9	0,0	9,0	7,1	4,0	5,0	8,8	7,0	0,0	4,0	1,0	5,0	4,0	4,0	4,4	3,2	4,8	4,4	4,1	4,0	3,0	1,0	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,4		
Autor des Plombes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Beyerhennette grise	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bongios noir	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bonaise alpine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Boursull pinite	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bruant des roseaux	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bruant légal	2,6	0,3	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Buse variable	0,0	0,4	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Canard colvert	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	2,8	3,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,6	0,0	1,3	
Chardonneret élégant	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Chouette hulotte	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,6	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	
Corneille noire	0,0	1,1	5,0	1,2	0,6	1,0	0,6	0,1	0,8	0,6	0,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Coucou gris	1,4	0,1	0,0	0,1	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,3	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Cygne tuberculé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Épervier d'Europe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bourneau saisonnier	1,4	23,2	5,0	20,7	21,4	0,0	33,9	28,1	21,0	28,9	44,4	30,3	1,0	3,0	10,0	0,0	14,0	0,0	2,0	0,8	11,0	20,0	17,7	2,0	3,3	7,6	13,0	11,1	10,0	4,4	0,6	0,0	12,0	7,2	0,0	10,7	7,7	0,0	
Falaise de Colohide	0,0	10,6	4,0	10,6	10,7	1,4	3,4	4,8	4,0	3,3	3,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	
Faucon crécerelle	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Faucon hobereau	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,3	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Fauvette à tête noire	15,8	6,0	7,0	6,2	5,8	4,8	6,2	5,2	5,2	6,7	9,0	9,4	1,0	5,0	7,0	9,0	9,0	10,0	10,8	17,4	13,1	6,7	16,6	9,3	10,0	5,3	7,0	7,7	5,0	11,1	30,8	2,0	19,4	18,8	6,2	13,2	13,2	0,0	
Fauvette des larches	0,6	1,8	0,0	1,3	1,8	0,0	1,7	0,5	0,8	1,7	5,3	1,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Fauvette grisette	0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Fouque macroule	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Fuligule morillon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gallinule poule d'eau	0,0	0,4	0,0	0,4	0,6	8,1	0,0	0,0	1,2	1,1	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Geai des chênes	1,8	0,8	0,0	0,7	0,8	1,0	0,0	0,5	0,8	0,6	0,8	0,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,3	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,0	2,2	0,0	0,0	1,3	0,8	0,0	1,1	0,7		
Geai bleu	0,0	1,6	0,0	2,0	1,9	0,0	1,7	1,4	1,8	1,7	3,0	2,3	0,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	0,0	0,8	2,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,1	0,0	1,5	0,8		
Gobemouche gris	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Gobemouche noir	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Grèbe castoréux	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Grèbe huppé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Grimpereau des bois	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Grimpereau des bois	0,0	3,6																																					

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Marin-pêcheur d'Europe	10.8	8.0	8.0	7.2	7.4	5.2	10.2	9.5	5.2	8.8	10.5	7.0	3.0	8.0	8.0	6.0	11.0	5.0	8.8	6.8	8.1	4.8	5.5	4.1	4.6	1.5	5.0	4.4	4.0	4.4	10.5	0.0	9.5	6.5	3.1	6.8	5.8		
Mante noir	1.4	1.1	0.0	1.2	1.1	0.0	1.1	0.5	0.4	1.1	1.5	1.2	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	4.0	0.8	1.7	1.8	0.8	1.1	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.4	0.8	0.4	0.7	0.8		
Mésange à longue queue	3.1	13.8	0.0	12.7	13.8	0.5	10.2	9.5	7.7	8.3	15.0	10.5	5.0	3.0	8.0	6.0	7.0	4.0	4.8	10.4	6.5	15.2	11.1	2.0	3.3	4.8	0.0	5.5	4.0	2.2	8.8	0.0	6.7	4.2	1.2	5.3	3.5		
Mésange bleue	1.9	2.8	0.0	2.7	3.2	0.5	1.7	2.4	0.8	1.7	2.3	2.9	0.0	1.0	1.0	3.0	1.0	4.0	2.0	4.3	1.5	1.9	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	0.0	1.5	1.0	
Mésange charbonnière	3.8	6.8	8.0	8.8	7.5	1.4	8.5	9.0	7.2	8.2	11.2	10.5	7.0	8.0	13.0	8.0	12.0	8.0	8.0	13.0	8.5	13.2	11.1	1.0	3.3	3.0	8.0	8.0	8.0	8.8	35.8	0.0	9.7	5.5	1.4	5.2	4.4		
Mésange nonnette	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.6	0.0	2.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.1	0.0	0.0	6.4	0.0	1.9	1.1	0.0	2.0	1.1	
Milan noir	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Milan royal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Morneau titouet	0.0	7.7	0.0	8.8	8.8	1.0	9.0	8.1	7.2	7.8	9.0	9.4	3.0	8.0	8.0	5.0	8.0	6.0	8.0	8.0	1.8	15.2	15.3	0.0	0.8	9.2	3.0	5.3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Pantiflex anse	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pie canaris	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.8	0.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pie épiche	1.4	1.5	0.0	1.4	1.8	0.0	1.7	1.0	1.2	1.1	1.5	1.8	1.0	2.0	3.0	2.0	2.0	1.0	0.8	1.7	2.5	2.8	2.2	1.0	1.3	0.7	2.0	3.2	2.0	2.2	4.8	0.0	3.3	2.1	0.0	3.7	2.8		
Pie épichette	0.0	0.8	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.8	1.2	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	2.8	1.8	1.9	1.1	1.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.0	0.2	0.0	+	0.8	0.0	+	0.4		
Pie mer	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.0	0.0	2.8	0.0	2.8	0.0	2.2	1.8	0.0	3.2	1.8
Pie noir	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pie noir	0.0	0.4	0.0	0.4	0.4	0.0	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pie bavards	0.0	0.4	0.0	0.4	0.4	1.0	0.8	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pie-grisbe écorcheur	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pigeon colombine	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pigeon familier	0.8	5.8	0.0	6.2	6.8	1.0	6.8	5.7	5.2	7.2	8.3	8.4	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	1.0	1.2	0.8	1.8	0.8	1.1	0.0	0.8	0.7	2.0	1.1	1.0	0.0	0.7	0.0	2.4	1.8	0.8	3.2	2.3		
Pinson des arbres	2.5	4.2	0.0	3.8	4.3	0.0	5.1	4.8	4.0	5.0	2.3	5.3	8.0	8.0	14.0	8.0	13.0	9.0	6.8	11.3	10.8	6.5	11.1	5.2	8.0	4.5	10.8	8.8	9.0	4.4	28.2	0.0	23.8	18.0	2.0	17.0	11.7		
Pipit des arbres	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Pouillot gris	1.8	0.7	14.0	1.0	0.7	2.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.8	2.8	1.8	1.8	2.2	1.0	0.6	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pouillot arifleur	0.0	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Pouillot véloce	4.4	3.8	10.0	4.3	1.8	2.9	4.5	3.8	1.8	1.7	4.5	2.3	0.0	14.0	7.0	8.0	3.0	7.0	8.8	8.7	5.7	9.0	9.8	8.3	8.0	3.8	7.0	8.8	6.0	8.8	4.8	3.0	3.7	5.8	5.1	2.2	3.2		
Ralle d'eau	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roulet à triple bandeau	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roulet et tuppé	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roussin philonèle	0.0	0.0	12.0	0.4	0.4	3.3	1.1	0.5	0.4	0.0	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.8	1.8	1.8	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
Roussin familier	12.2	4.1	7.0	3.8	3.8	0.0	3.4	4.3	2.8	3.8	3.0	3.5	10.0	12.0	20.0	10.0	10.0	7.0	8.0	9.5	8.1	6.7	8.8	5.2	6.0	0.7	8.0	0.0	0.0	4.4	20.7	0.0	7.7	6.4	0.8	0.8	3.8		
Roussin à trois bandeaux	0.0	0.8	0.0	0.8	0.8	0.0	1.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roussin noir	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roussin émirante	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roussin turquois	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roussin varié	0.0	0.8	0.0	0.8	0.4	1.9	0.0	0.0	0.4	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Saïn oliv	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Saïn tordetot	1.4	1.8	0.0	1.8	2.1	0.0	1.7	1.8	2.0	2.8	2.3	2.3	2.0	1.0	7.0	3.0	5.0	3.0	1.2	4.2	4.0	7.8																	

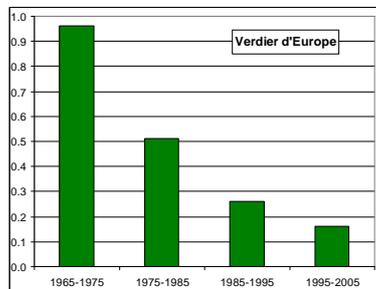
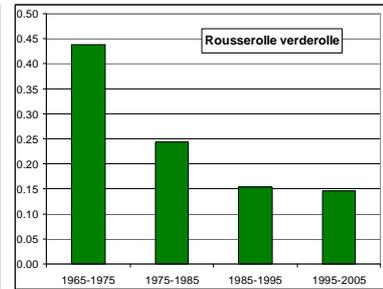
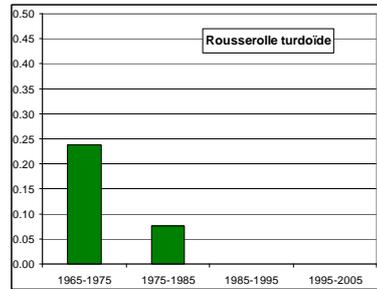
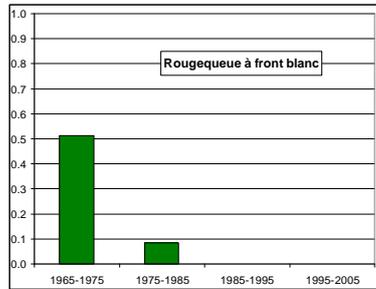
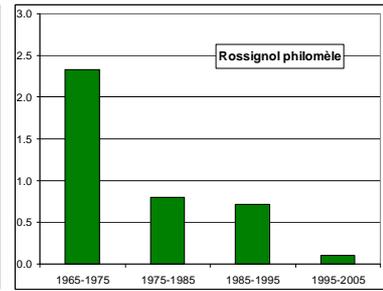
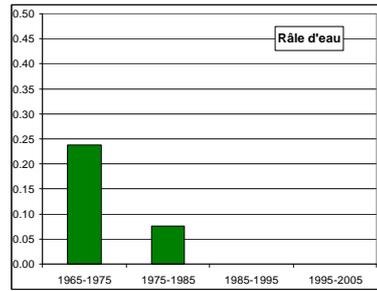
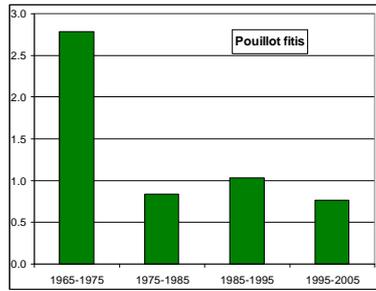
ANNEXE 2

Evolution historique de quelques espèces d'oiseaux des forêts rhénanes
(d'après les données bibliographiques, en nombre de couples / 10 ha)

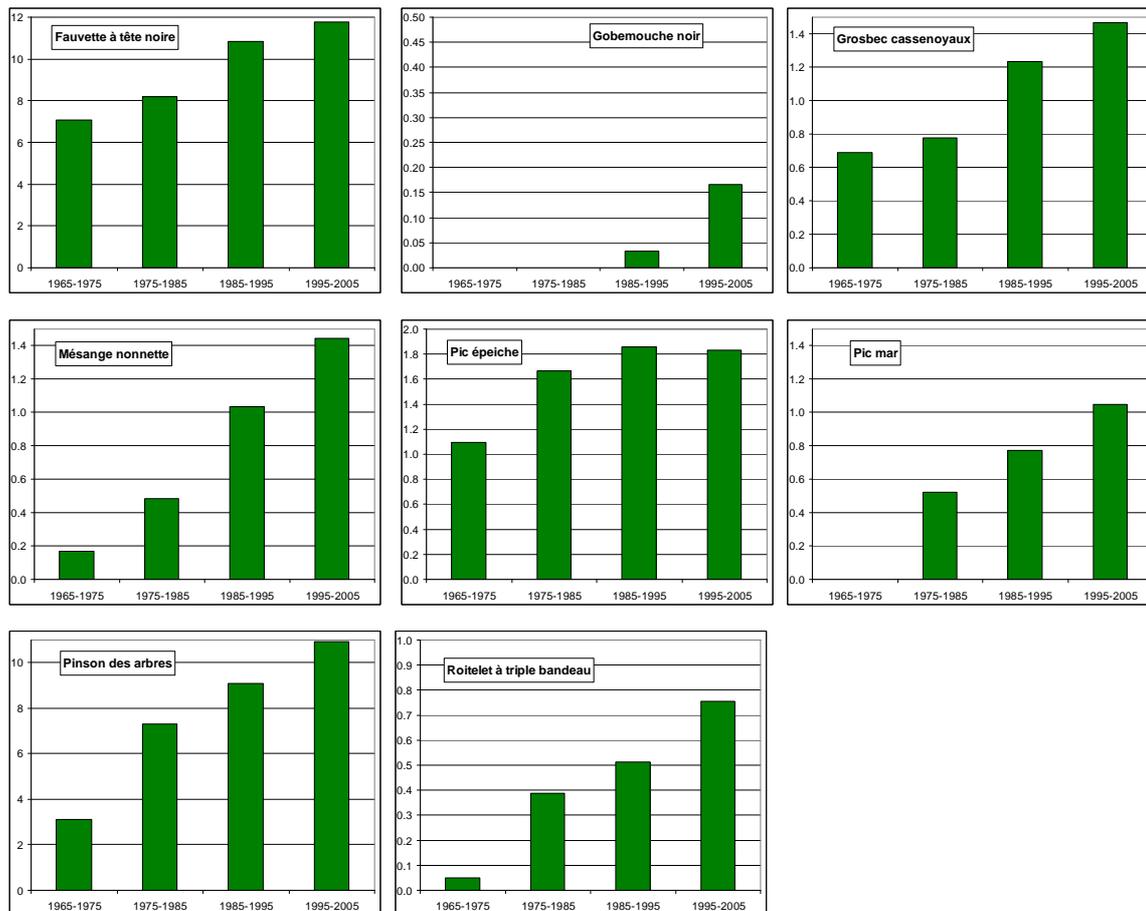
- 2 a – espèces en diminution
- 2 b – espèces en augmentation
- 2 c – autres parcours spécifiques

2 a





2 b





ANNEXE 3

Synthèses spécifiques : les espèces d'oiseaux des forêts de la plaine d'Alsace

Les principales espèces nicheuses des forêts de la plaine d'Alsace

Sont présentés dans cette annexe, les résultats par espèce dispersés dans le présent mémoire, qu'ils proviennent des résultats originaux de l'auteur ou de la bibliographie. On se reportera à l'annexe 2 pour les évolutions spécifiques d'après la bibliographie.

Légende

Forêts rhénanes

Frèq – Fréquence : pourcentage d'apparition de l'espèce dans les IPA réalisés dans le cadre du présent travail (N = 162) ;

Dm – Densité moyenne de l'espèce en couples / 10 ha, obtenue en convertissant l'ipa moyen de l'espèce ; espèce dominante : densité supérieure ou égale à 5 % de la densité totale ; espèce sub-dominante : densité comprise entre 2 et 5 % de la densité totale ;

Maxi quadrat – densité maximale de l'espèce mesurée sur un quadrat par l'auteur en forêt rhénane ;

Maxi ipa – densité maximale obtenue en convertissant en densités les 5 % d'ipa les plus élevés pour l'espèce (représentant la densité « maximale théorique » en forêt rhénane sur une superficie conséquente) ;

Corrélations – résultats des régressions linéaires multiples de l'abondance de l'espèce sur les variables environnementales (cf. chapitre 4), avec significativité statistique (***) très hautement significatif, ** hautement significatif, * significatif) ;

Moyenne biblio – Moyenne des densités citées dans la bibliographie d'inventaires rhénans (N = 42) ; entre parenthèses : premier et troisième quartiles ;

Maxis biblio – les 5 % des densités les plus élevés citées dans la bibliographie d'inventaires rhénans (N = 42) ;

Forêts de plaine (Rhin, Hardt, Ill, Haguenau)

Frèq – Fréquence : pourcentage d'apparition dans les IPA réalisés dans le cadre du présent travail (N = 399), pondéré par les superficies forestières de chaque région naturelle ;

Dm – Densité moyenne, obtenue en convertissant l'ipa moyen de chaque espèce en densité absolue aux 10 ha (Ht : Hardt, Hg : Haguenau) ; espèce dominante : densité supérieure ou égale à 5 % de la densité totale ; espèce sub-dominante : densité comprise entre 2 et 5 % de la densité totale ;

Min / max – densités minimale / maximale dans les 8 assemblages d'oiseaux identifiés dans les forêts de la plaine d'Alsace (entre parenthèses : premier et troisième quartiles) ; ubiquiste / spécialiste : coefficient de variation dans les assemblages inférieur à 0,25 / supérieur à 1,0.

« + » : fréquence < 0,5 % ou densité < 0,05 couple / 10 ha

Columbidés

Pigeon colombin *Columba oenas*

Forêts rhénanes : Fréq 2 % – Dm + – maxi quadrat + – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0 (0 – 0) – maxis biblio 0.

Forêts plaine : Fréq 6 % – Dm + (Ht 0 – Ill + – Hg 0,1) – min 0 (+ – +) max 0,1 – corrélations non recherchées.

Pigeon ramier *Columba palumbus*

Forêts rhénanes : Fréq 90 % – Dm 0,7 – maxi quadrat 1,4 – maxi ipa 1,6 – Aucune corrélation mise en évidence – moyenne biblio 2,4 (0,7 – 3,0) – maxis biblio 6,8.

Forêts plaine : Fréq 87 % – Dm 0,6 (Ht 0,7 – Ill 0,5 – Hg 0,7) – ubiquiste, min 0,5 (0,6 – 0,7) max 0,7 – Abondance corrélée négativement à la couverture arborescente**.

Tourterelle des bois *Streptopelia turtur*

Forêts rhénanes : Fréq 52 % – Dm 0,4 – maxi quadrat 1,7 – maxi ipa 0,8 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,5 (0 – 1,0) – maxis biblio 1,7.

Forêts plaine : Fréq 41 % – Dm 0,3 (Ht 0,5 – Ill 0,1 – Hg 0,4) – ubiquiste, min 0,1 (0,3 – 0,5) max 0,7 – corrélations non recherchées.

Cuculidés

Coucou gris *Cuculus canorus*

Forêts rhénanes : Fréq 56 % – Dm 0,2 – maxi quadrat 0,1 – maxi ipa 1,0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,5 (0 – 1,0) – maxis biblio 1,3.

Forêts plaine : Fréq 66 % – Dm 0,3 (Ht 0,3 – Ill 0,1 – Hg 0,4) – ubiquiste, min 0,1 (0,2 – 0,3) max 0,5 – corrélations non recherchées.

Picidés

Torcol fourmilier *Jynx torquilla*

Forêts rhénanes : Fréq 1 % – Dm + – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0 (0 – 0) – maxis biblio 0.

Forêts plaine : Fréq 5 % – Dm + (Ht + – Ill 0 – Hg +) – spécialiste, min 0 (0 – +) max 0,1 – corrélations non recherchées.

Pic cendré *Picus canus*

Forêts rhénanes : Fréq 0 % – Dm 0 – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,2 (0 – 0,5) – maxis biblio 1,0.

Forêts plaine : Fréq 5 % – Dm + (Ht 0 – Ill + – Hg +) – spécialiste, min 0 (0 – +) max + – corrélations non recherchées.

Pic vert *Picus viridis*

Forêts rhénanes : Fréq 32 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,1 – maxi ipa 0,5 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,1 (0 – 0,1) – maxis biblio 0,6.

Forêts plaine : Fréq 22 % – Dm 0,1 (Ht 0,1 – Ill 0,1 – Hg 0,1) – ubiquiste, min + (0,1 – 0,1) max 0,2 – corrélations non recherchées.

Pic noir *Dryocopus martois*

Forêts rhénanes : Fréq 10 % – Dm + – maxi quadrat + – maxi ipa 0,2 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,1 (0 – +) – maxis biblio 1,0.

Forêts plaine : Fréq 19 % – Dm + (Ht + – Ill + – Hg 0,1) – ubiquiste, min + (+ – +) max 0,1 – corrélations non recherchées.

Pic épeiche *Dendrocopos major*

Forêts rhénanes : Fréq 93 % – Dm 1,5 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 2,1 – maxi ipa 3,9 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximum* et à la latitude**, négativement à la présence de Peuplier grisard – moyenne biblio 1,7 (1,0 – 2,1) – maxis biblio 3,3.

Forêts plaine : Fréq 87 % – Dm 1,3 (Ht 0,8 – Ill 1,5 – Hg 1,5) – ubiquiste, min 0,6 (1,2 – 1,6) max 1,7 – Abondance corrélée positivement à la hauteur du peuplement***, à la présence de Chêne* et de Charme*, et à la latitude***, négativement à la profondeur de la nappe phréatique**.

Pic mar *Dendrocopos medius*

Forêts rhénanes : Fréq 15 % – Dm 0,3 – maxi quadrat 1,4 – maxi ipa 2,2 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,6 (0 – 1,0) – maxis biblio 2,2.

Forêts plaine : Fréq 17 % – Dm 0,4 (Ht 0,1 – Ill 0,4 – Hg 0,4) – min 0,1 (0,2 – 0,4) max 0,7 – corrélations non recherchées.

Pic épeichette *Dendrocopos minor*

Forêts rhénanes : Fréq 8 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,1 – maxi ipa 1,8 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,6(0 – 1,0) – maxis biblio 1,6.

Forêts plaine : Fréq 5 % – Dm 0,1 (Ht 0,1 – Ill 0,1 – Hg 0,1) – min + (+ – 0,1) max 0,2 – corrélations non recherchées.

Motacillidés

Pipit des arbres *Anthus trivialis*

Forêts rhénanes : Fréq 1 % – Dm + – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,3 (0 – 0) – maxis biblio 1,0.

Forêts plaine : Fréq 12 % – Dm 0,1 (Ht + – Ill + – Hg 0,3) – spécialiste, min 0 (0 – +) max 0,5 – corrélations non recherchées .

Troglodytidés

Troglodyte mignon *Troglodytes troglodytes*

Forêts rhénanes : Fréq 85 % – Dm 2,6 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 4,3 – maxi ipa 6,5 – Abondance corrélée positivement à la hauteur du peuplement*** et à la latitude*** – moyenne biblio 6,9 (4,7 – 9,8) – maxis biblio 13,2.

Forêts plaine : Fréq 78 % – Dm 2,9 (espèce sub-dominante – Ht 1,2 – Ill 4,9 – Hg 2,8) – ubiquiste, min 0,4 (2,2 – 2,9) max 5,2 – Abondance corrélée positivement à la couverture arborescente*** et à la hauteur du peuplement***, à la présence de Charme***, d'érables***, de Frêne***, de Hêtre***, d'Aulne** et de Peuplier de culture*, négativement à la couverture arbustive** et à la profondeur de la nappe phréatique***.

Prunellidés

Accenteur mouchet *Prunella modularis*

Forêts rhénanes : Fréq 18 % – Dm 0,6 – maxi quadrat 1,4 – maxi ipa 3,2 – Abondance corrélée positivement à la hauteur du peuplement** et à la présence du Chêne*,

négativement à la surface terrière totale*** et à la couverture arbustive* – moyenne biblio 2,7 (0,1 – 4,4) – maxis biblio 7,0.

Forêts plaine : Fréq 21 % – Dm 0,7 (Ht 1,2 – Ill 0,1 – Hg 0,8) – min 0,1 (0,3 – 1,0) max 1,5 – Abondance corrélée positivement à la taille du massif forestier**, négativement à la couverture arborescente*** et à la présence de Frêne**.

Turdidés

Rougegorge familier *Erithacus rubecula*

Forêts rhénanes : Fréq 78 % – Dm 3,5 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 7,1 – maxi ipa 10,6 – Abondance corrélée positivement à la couverture arborescente***, négativement à la surface terrière totale** et à la taille du massif* – moyenne biblio 6,5 (3,5 – 8,1) – maxis biblio 15,8.

Forêts plaine : Fréq 84 % – Dm 4,0 (espèce dominante – Ht 4,1 – Ill 3,5 – Hg 4,5) – ubiquiste, min 2,6 (3,4 – 4,2) max 5,0 – Abondance corrélée positivement à la couverture arborescente***, à la taille du massif*** et à la présence de Charme**, négativement au diamètre maximum* et à la latitude*.

Rosignol philomèle *Luscinia megarhynchos*

Forêts rhénanes : Fréq 4 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,7 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,8 (0 – 1,0) – maxis biblio 3,0.

Forêts plaine : Fréq 14 % – Dm 0,5 (Ht 1,7 – Ill 0,2 – Hg 0) – spécialiste, min 0 (0 – 0,2) max 3,1 – corrélations non recherchées.

Merle noir *Turdus merula*

Forêts rhénanes : Fréq 96 % – Dm 2,9 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 7,1 – maxi ipa 5,4 – Abondance corrélée positivement à la couverture arbustive*, et négativement à la latitude*** – moyenne biblio 6,1 (4,4 – 8,0) – maxis biblio 10,5.

Forêts plaine : Fréq 92 % – Dm 2,6 (espèce sub-dominante – Ht 2,7 – Ill 1,9 – Hg 3,0) – ubiquiste, min 2,2 (2,5 – 2,9) max 4,4 – Abondance corrélée positivement à la couverture arbustive*, à la distance à la lisière* et à la profondeur de la nappe phréatique**, négativement à la présence de Frêne** et d'Aulne*.

Grive musicienne *Turdus philomelos*

Forêts rhénanes : Fréq 90 % – Dm 2,0 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 5,7 – maxi ipa 4,5 – Abondance corrélée négativement à la surface terrière en gros bois* – moyenne biblio 4,4 (3,0 – 5,7) – maxis biblio 8,0.

Forêts plaine : Fréq 69 % – Dm 1,4 (Ht 1,4 – Ill 1,3 – Hg 1,2) – ubiquiste, min 0,8 (1,4 – 1,7) max 1,9 – Abondance corrélée positivement à la présence de phragmites*, à la couverture arbustive* et à la latitude*, négativement à la présence de Pin sylvestre*** et à la distance à la lisière***.

Grive draine *Turdus viscivorus*

Forêts rhénanes : Fréq 2 % – Dm + – maxi quadrat + – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,2 (0 – 0) – maxis biblio 1,1.

Forêts plaine : Fréq 7 % – Dm + (Ht 0 – Ill + – Hg +) – spécialiste, min 0 (0 – +) max 0,1 – corrélations non recherchées.

Sylviidés

Locustelle tachetée *Locustella naevia*

Forêts rhénanes : Fréq 2 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 1,4 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,1 (0 – 0) – maxis biblio 0,8.

Forêts plaine : Fréq 4 % – Dm 0,2 (Ht 0,4 – Ill + – Hg 0,1) – spécialiste, min 0 (0 – 0,2) max 0,7 – corrélations non recherchées.

Rousserolle effarvate *Acrocephalus scirpaceus*

Forêts rhénanes : Fréq 8 % – Dm 0,9 – maxi quadrat 7,1 – maxi ipa 6,9 – Abondance corrélée positivement à la présence de phragmites*** et de bras d'eau**, de Peuplier grisard* et à la latitude* – moyenne biblio 1,5 (0 – +) – maxis biblio 6,9.

Forêts plaine : Fréq 1 % – Dm 0,1 (Ht 0 – Ill 0 – Hg 0) – spécialiste, min 0 (0 – 0,2) max 1,9 – Abondance corrélée positivement à la présence de phragmites***, de bras d'eau*** et à la latitude***, négativement à la taille du massif***.

Fauvette grisette *Sylvia communis*

Forêts rhénanes : Fréq 1 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,7 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,2 (0 – 0) – maxis biblio 0,7.

Forêts plaine : Fréq 2 % – Dm 0,2 (Ht 0,4 – Ill 0,2 – Hg 0) – spécialiste, min 0 (0 – 0) max 1,4 – corrélations non recherchées.

Fauvette des jardins *Sylvia borin*

Forêts rhénanes : Fréq 10 % – Dm 0,5 – maxi quadrat 1,4 – maxi ipa 4,5 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,8 (0 – 1,3) – maxis biblio 2,0.

Forêts plaine : Fréq 10 % – Dm 0,5 (Ht 0,5 – Ill 0,2 – Hg 0,7) – min 0 (0,3 – 0,6) max 1,0 – corrélations non recherchées.

Fauvette à tête noire *Sylvia atricapilla*

Forêts rhénanes : Fréq 98 % – Dm 14,4 (espèce dominante, la plus abondante) – maxi quadrat 15,8 – maxi ipa 23,7 – Abondance corrélée négativement à la présence de Tilleul** et à la taille du massif* – moyenne biblio 9,6 (6,2 – 11,6) – maxis biblio 18,4.

Forêts plaine : Fréq 96 % – Dm 11,4 (espèce dominante, la plus abondante – Ht 13,4 – Ill 14,4 – Hg 6,6) – ubiquiste, min 6,4 (12,4 – 14,5) max 15,2 – Abondance corrélée positivement à la couverture arbustive***, à la hauteur du peuplement**, à la présence de Peuplier de culture*** et de Frêne**, négativement à la surface terrière en gros bois**, à la présence de Hêtre***, à la distance à la lisière*** et à la latitude**.

Pouillot siffleur *Phylloscopus sibilatrix*

Forêts rhénanes : Fréq 1 % – Dm + – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,2 (0 – 0) – maxis biblio 2,0.

Forêts plaine : Fréq 9 % – Dm 0,1 (Ht 0,1 – Ill 0 – Hg 0,3) – spécialiste, min 0 (0 – 0,1) max 0,4 – corrélations non recherchées.

Pouillot véloce *Phylloscopus collybita*

Forêts rhénanes : Fréq 96 % – Dm 4,8 (espèce dominante) – maxi quadrat 11,4 – maxi ipa 9,1 – Abondance corrélée négativement à la surface terrière en gros bois***, à la couverture arbustive* et à la distance à la lisière*** – moyenne biblio 5,4 (3,1 – 7,0) – maxis biblio 9,9.

Forêts plaine : Fréq 87 % – Dm 4,5 (espèce dominante – Ht 7,1 – Ill 3,1 – Hg 3,6) – ubiquiste, min 2,4 (3,9 – 5,7) max 7,8 – Abondance corrélée positivement à la

couverture arbustive*, négativement à la couverture arborescente** et à la hauteur du peuplement***, à la présence de Frêne***, d'Aulne**, de Chêne* et de Hêtre*, et à la taille du massif*.

Pouillot fitis *Phylloscopus trochilus*

Forêts rhénanes : Fréq 26 % – Dm 0,6 – maxi quadrat 2,5 – maxi ipa 2,2 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 1,1 (0 – 1,5) – maxis biblio 2,8.

Forêts plaine : Fréq 44 % – Dm 1,4 (Ht 2,2 – Ill 0,3 – Hg 1,9) – spécialiste, min 0 (0,3 – 1,8) max 4,6 – corrélations non recherchées.

Roitelet huppé *Regulus regulus*

Forêts rhénanes : Fréq 0 % – Dm 0 – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio + (0 – 0) – maxis biblio 0.

Forêts plaine : Fréq 4 % – Dm 0,2 (Ht 0 – Ill 0 – Hg 0,7) – spécialiste, min 0 (0 – +) max 1,1 – corrélations non recherchées.

Roitelet à triple bandeau *Regulus ignicapillus*

Forêts rhénanes : Fréq 3 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,4 (0 – 0,4) – maxis biblio 2,0.

Forêts plaine : Fréq 6 % – Dm 0,3 (Ht + – Ill 0,1 – Hg 0,6) – spécialiste, min 0 (0,1 – 0,2) max 0,8 – corrélations non recherchées.

Muscicapidés

Gobemouche gris *Muscicapa striata*

Forêts rhénanes : Fréq 2 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,4 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 1,1 (0 – 1,9) – maxis biblio 3,0.

Forêts plaine : Fréq 1 % – Dm + (Ht 0 – Ill 0 – Hg 0,1) – spécialiste, min 0 (0 – 0,1) max 0,2 – corrélations non recherchées.

Gobemouche noir *Ficedula hypoleuca*

Forêts rhénanes : Fréq 2 % – Dm + – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio + (0 – 0) – maxis biblio +.

Forêts plaine : Fréq 10 % – Dm 0,4 (Ht 0 – Ill 0,2 – Hg 1,0) – spécialiste, min 0 (0 – 0,4) max 1,1 – corrélations non recherchées.

Aegithalidés

Mésange à longue queue *Aegithalos caudatus*

Forêts rhénanes : Fréq 13 % – Dm 0,7 – maxi quadrat 0,8 – maxi ipa 5,7 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,8 (0,4 – 1,2) – maxis biblio 1,6.

Forêts plaine : Fréq 6 % – Dm 0,3 (Ht 0,4 – Ill 0,2 – Hg 0,1) – min 0,1 (0,2 – 0,5) max 0,9 – corrélations non recherchées.

Paridés

Mésange charbonnière *Parus major*

Forêts rhénanes : Fréq 97 % – Dm 6,6 (espèce dominante, troisième espèce la plus abondante) – maxi quadrat 12,1 – maxi ipa 12,9 – Abondance corrélée positivement à la surface terrière en gros bois*, et négativement à la présence de Chêne* – moyenne biblio 7,9 (5,6 – 9,0) – maxis biblio 13,0.

Forêts plaine : Fréq 94 % – Dm 7,0 (espèce dominante, troisième espèce la plus abondante – Ht 5,4 – Ill 9,8 – Hg 6,3) – ubiquiste, min 5,5 (5,8 – 6,9) max 7,2 –

Abondance corrélée positivement à la hauteur du peuplement*** et à la présence de Frêne***, négativement à la profondeur de la nappe phréatique.

Mésange noire *Parus ater*

Forêts rhénanes : Fréq 0 % – Dm 0 – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0 (0 – 0) – maxis biblio 0.

Forêts plaine : Fréq 10 % – Dm 0,6 (Ht 0,1 – Ill 0 – Hg 1,6) – spécialiste, min 0 (0 – 0) max 2,8 – corrélations non recherchées.

Mésange bleue *Parus caeruleus*

Forêts rhénanes : Fréq 52 % – Dm 3,7 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 10,1 – maxi ipa 7,8 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximum**, à la présence d'érables* et à la distance à la lisière* – moyenne biblio 6,5 (4,0 – 9,0) – maxis biblio 13,8.

Forêts plaine : Fréq 53 % – Dm 3,6 (espèce dominante – Ht 2,2 – Ill 5,7 – Hg 3,0) – ubiquiste, min 2 (2,2 – 4,2) max 5,9 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximal*** et à la présence de Frêne***, négativement à la profondeur de la nappe phréatique*.

Mésange huppée *Parus cristatus*

Forêts rhénanes : Fréq 0 % – Dm 0 – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio (–) – maxis biblio 0.

Forêts plaine : Fréq 5 % – Dm 0,2 (Ht 0,1 – Ill 0 – Hg 0,6) – spécialiste, min 0 (0 – 0) max 1,2 – corrélations non recherchées.

Mésange boréale *Parus montanus*

Forêts rhénanes : Fréq 1 % – Dm + – maxi quadrat 0 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 1,2 (0 – 1,9) – maxis biblio 3,2.

Forêts plaine : Fréq + % – Dm + (Ht 0,1 – Ill 0 – Hg 0) – spécialiste, min 0 (0 – +) max 0,2 – corrélations non recherchées.

Mésange nonnette *Parus palustris*

Forêts rhénanes : Fréq 30 % – Dm 1,2 – maxi quadrat 2,5 – maxi ipa 4,1 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,8 (0 – 1,3) – maxis biblio 2,5.

Forêts plaine : Fréq 30 % – Dm 1,2 (Ht 0,8 – Ill 1,0 – Hg 1,5) – ubiquiste, min 0,5 (0,9 – 1,4) max 1,7 – corrélations non recherchées.

Sittidés

Sittelle torchepot *Sitta europaea*

Forêts rhénanes : Fréq 67 % – Dm 1,2 – maxi quadrat 2,1 – maxi ipa 4,5 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximal**, à la superficie du massif forestier*** et à la latitude* – moyenne biblio 2,8 (1,6 – 3,8) – maxis biblio 7,0.

Forêts plaine : Fréq 71 % – Dm 1,4 (Ht 0,7 – Ill 2,2 – Hg 1,3) – ubiquiste, min 0,3 (1,0 – 1,6) max 2,4 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximum***, à la couverture arborescente*** et à la couverture arbustive*, à la présence de Frêne***, de Hêtre**, de Charme** et de Chêne*, négativement à la nappe phréatique**.

Certhiidés

Grimpereau des bois *Certhia familiaris*

Forêts rhénanes : Fréq 4 % – Dm 0,1 – maxi quadrat 0,1 – maxi ipa 0 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,4 (0 – 0,9) – maxis biblio 2,0.

Forêts plaine : Fréq 9 % – Dm 0,2 (Ht 0,1 – Ill 0,1 – Hg 0,3) – spécialiste, min 0 (0 – 0,2) max 0,5 – corrélations non recherchées.

Grimpureau des jardins *Certhia brachydactyla*

Forêts rhénanes : Fréq 51 % – Dm 1,9 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat 1,9 – maxi ipa 3,8 – Abondance corrélée positivement à la hauteur du peuplement* – moyenne biblio 3,1 (2,0 – 4,0) – maxis biblio 7,8.

Forêts plaine : Fréq 45 % – Dm 1,6 (espèce sub-dominante – Ht 0,9 – Ill 3,0 – Hg 1,0) – min 0,6 (0,7 – 2,4) max 2,9 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximal**, à la hauteur du peuplement**, à la couverture arborescente*, à la présence de Frêne*** et d'érables**, négativement à la distance à la lisière*** et à la profondeur de la nappe phréatique*.

Oriolidés

Loriot d'Europe *Oriolus oriolus*

Forêts rhénanes : Fréq 38 % – Dm 0,8 – maxi quadrat 1,3 – maxi ipa 2,1 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,6 (0 – 1,0) – maxis biblio 1,4.

Forêts plaine : Fréq 31 % – Dm 0,7 (Ht 0,7 – Ill 0,8 – Hg 0,5) – ubiquiste, min 0,5 (0,6 – 0,9) max 1,0 – corrélations non recherchées.

Corvidés

Geai des chênes *Garrulus glandarius*

Forêts rhénanes : Fréq 50 % – Dm 0,1 – maxi quadrat x – maxi ipa 0,4 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,8 (0,5 – 1,0) – maxis biblio 2,0.

Forêts plaine : Fréq 63 % – Dm 0,2 (Ht 0,2 – Ill 0,2 – Hg 0,2) – ubiquiste, min 0,1 (0,2 – 0,2) max 0,2 – corrélations non recherchées.

Corneille noire *Corvus corone*

Forêts rhénanes : Fréq 91 % – Dm 1,8 (espèce sub-dominante) – maxi quadrat x – maxi ipa 4,8 – Abondance corrélée positivement à la présence de bras d'eau*, et négativement à la superficie du massif forestier* – moyenne biblio 0,5 (0 – 0,8) – maxis biblio 1,4.

Forêts plaine : Fréq 71 % – Dm 1,3 (Ht 1,7 – Ill 1,6 – Hg 0,7) – ubiquiste, min 0,5 (1,3 – 1,9) max 2,1 – Abondance corrélée positivement à la présence d'eau***, à la couverture arbustive** et à la présence du Peuplier de culture*, négativement à la présence de Hêtre** et de Pin sylvestre**, et à la distance à la lisière***.

Sturnidés

Etourneau sansonnet *Sturnus vulgaris*

Forêts rhénanes : Fréq 56 % – Dm 3,9 (espèce dominante) – maxi quadrat 8,1 – maxi ipa 19,1 – Aucune corrélation mise en évidence – moyenne biblio 11,4 (2,9 – 16,8) – maxis biblio 33,7.

Forêts plaine : Fréq 46 % – Dm 5,4 (espèce dominante – Ht 1,8 – Ill 14,5 – Hg 1,8) – min 1,2 (2,3 – 4,7) max 10,1 – Abondance corrélée positivement au diamètre maximum*, à la hauteur du peuplement* et à la présence de Frêne***, négativement à la présence de Hêtre*, à la distance à la lisière*** et à la profondeur de la nappe phréatique**.

Fringillidés

Pinson des arbres *Fringilla coelabs*

Forêts rhénanes : Fréq 96 % – Dm 11,9 (espèce dominante, deuxième espèce la plus abondante) – maxi quadrat 15,0 – maxi ipa 21,0 – Abondance corrélée positivement à la surface terrière totale** et en gros bois*, ainsi qu'à la taille du massif*** et à la latitude** – moyenne biblio 8,2 (4,5 – 11,0) – maxis biblio 17,0.

Forêts plaine : Fréq 94 % – Dm 10,8 (espèce dominante, deuxième espèce la plus abondante – Ht 7,3 – Ill 12,5 – Hg 11,6) – ubiquiste, min 3,7 (8,5 – 13,0) max 14,3 – Abondance corrélée positivement à la surface terrière totale*** et à la hauteur du peuplement***, à la présence d'érables** et à la taille du massif**, négativement à la profondeur de la nappe phréatique***.

Gros bec casse-noyaux *Coccothraustes coccothraustes*

Forêts rhénanes : Fréq 17 % – Dm 1,0 – maxi quadrat 2,6 – maxi ipa 7,9 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 1,0 (0 – 1,9) – maxis biblio 3,1.

Forêts plaine : Fréq 27 % – Dm 1,6 (espèce sub-dominante – Ht 1,6 – Ill 1,2 – Hg 2,3) – ubiquiste, min 0,5 (0,8 – 2,0) max 2,3 – corrélations non recherchées.

Embérizidés

Bruant jaune *Emberiza citrinella*

Forêts rhénanes : Fréq 14 % – Dm 0,5 – maxi quadrat 0,7 – maxi ipa 3,6 – corrélations non recherchées – moyenne biblio 0,3 (0 – 0,3) – maxis biblio 1,1.

Forêts plaine : Fréq 20 % – Dm 0,8 (Ht 2,1 – Ill 0,5 – Hg 0,3) – spécialiste, min 0 (0,1 – 1,1) max 3,6 – corrélations non recherchées.

**L'AVIFAUNE NICHEUSE DES FORETS
RHENANES ALSACIENNES :**

RELATIONS AVEC LE MILIEU

**ET MISE EN PERSPECTIVE
GEOGRAPHIQUE ET HISTORIQUE**

Pascal DENIS

SOUTENU LE 6 avril 2009

RESUME :

L'avifaune des forêts de la plaine d'Alsace a été échantillonnée quantitativement à la fois par des méthodes permettant de mesurer des densités absolues, les quadrats (plus de 500 couples de petits passereaux nicheurs et plus de 800 couples d'espèces à plus grands territoires précisément recensés) et par des méthodes relatives fournissant des Indices Ponctuels d'Abondance, les IPA (400 relevés). La structure de la végétation forestière a été relevée sur chaque point d'inventaire, ainsi que la surface terrière de toutes les essences d'arbres et la situation géographique.

L'étude des relations entre l'avifaune (79 espèces) et les variables mesurées est réalisée tout d'abord au sein des forêts rhénanes, puis à l'échelle de l'ensemble des forêts de la plaine d'Alsace afin de permettre une mise en perspective. Le volume de la végétation, que traduisent le degré de couverture de la strate arborescente et la surface terrière totale, est le premier facteur de différenciation des avifaunes dans les forêts de la plaine. Dans les milieux ouverts, l'occupation de la strate arbustive représente le second facteur tendant à organiser les communautés d'oiseaux. Cette strate basse peut être occupée par des bras d'eau, par des milieux humides (roselières, saulaies basses) ou par des milieux xériques à strate arbustive claire ou abondante. Les forêts plus fermées se différencient, en terme d'avifaune, selon la taille des arbres, représentée par la hauteur du peuplement et le diamètre maximal mesuré sur la placette. Les essences ont dans l'ensemble peu d'influence sur les communautés aviennes, sauf par la structure forestière qui leur est associée.

Les hautes futaies de l'Ill sont les plus densément peuplées en oiseaux nicheurs, et les forêts de Haguenau sont les plus diversifiées par point d'inventaire. Les forêts de la Hardt présentent la plus forte patrimonialité. Les forêts rhénanes se distinguent par leur forte diversité bêta, qui leur permet de présenter globalement l'avifaune la plus diversifiée. Les peupleraies cultivées sont parmi les types forestiers les plus riches. Le diamètre maximal mesuré sur la placette joue un rôle important dans la répartition des espèces aviennes.

Une étude historique des inventaires ornithologiques réalisés dans les forêts rhénanes franco-allemandes depuis une quarantaine d'années montre une baisse des densités globales et une forte banalisation de l'avifaune. Celle-ci était tout à fait originale dans les années soixante-dix, avec de très fortes densités en oiseaux nicheurs et de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau et de milieux ouverts. Elle est aujourd'hui très proche de l'avifaune des forêts qui lui sont limitrophes. Ces modifications rapides apparaissent essentiellement comme le résultat à la fois d'une fermeture générale des forêts riveraines consécutive à la stabilisation du Rhin par des travaux d'aménagement, mais aussi de l'évolution globale des populations d'oiseaux à l'échelle européenne.

MOTS-CLES : Alsace, analyse multivariée, avifaune, communauté, densités, forêt alluviale, forêt rhénane, oiseaux, ripisylve, richesse