

1999

Annales scientifiques

de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord



MNB

PARC NATUREL
REGIONAL DES
VOSGES DU NORD

***ANNALES SCIENTIFIQUES
DE LA RÉSERVE DE
LA BIOSPHÈRE DES VOSGES
DU NORD***

publiées sous la direction de

Marc HOFFSESS,

Directeur du Syndicat de Coopération

pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord - Réserve de la Biosphère

et

Serge MULLER,

Président du Conseil Scientifique du Syndicat de Coopération

pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord - Réserve de la Biosphère,
responsable de la publication

TOME 7 - 1999

Parc Naturel Régional des Vosges du Nord
Maison du Parc
67290 La Petite-Pierre

Les «Annales scientifiques de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord» sont publiées par le Comité de Gestion de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord, sous l'égide de son Conseil Scientifique. Elles sont ouvertes à tous les travaux scientifiques relatifs au milieu naturel (flore, faune, écosystèmes, influence de l'homme sur le milieu, etc...) dans le territoire du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, auquel a été attribué en 1989 le label de «Réserve de la Biosphère» par le Comité M.A.B. de l'U.N.E.S.C.O. Des articles sur les territoires voisins, en particulier le Parc Naturel du Palatinat (Naturpark Pfälzerwald), pourront également y être publiés, éventuellement en langue allemande. La parution des Annales est en règle générale annuelle. Les articles doivent être adressés avant le 31 décembre, pour publication dans le numéro de l'année suivante, au Secrétariat de Rédaction des Annales, Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, 67290 La Petite-Pierre. Les articles sont examinés par le comité de lecture de la revue, qui peut requérir l'avis de personnes extérieures au comité. Celui-ci décide de l'acceptation ou non des manuscrits et des modifications à y apporter.

*L'édition n° 7 des Annales Scientifiques
de la Réserve de la Biosphère a été possible grâce
au concours financier du Ministère de l'Environnement.*

Le comité de rédaction et de lecture est composé de :

- Serge MULLER, Président du conseil scientifique du Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, responsable de la publication.
- Jean-Claude GÉNOT, chargé de la protection de la nature du Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, secrétaire de rédaction.
- Jacques LECOMTE, Président du Comité National Français du MAB.
- Yves MULLER, rédacteur en chef de la revue régionale d'écologie CICONIA et membre du conseil scientifique du Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord.

Directives aux auteurs

Les manuscrits doivent être envoyés en trois exemplaires, dactylographiés avec double interligne et marge de 5 cm sur une seule face de feuilles numérotées de papier standard. Les graphiques seront présentés prêts à l'impression, sinon sur papier millimétré. Les textes peuvent également être fournis sur disquette trois pouces et demi au format Macintosh 800 K avec les logiciels suivants : Word 5, ou texte ASCII. Le nom scientifique est requis lors de la première mention d'une espèce et doit être souligné. Les références placées dans le texte prennent la forme CALLOT (1991) ou (CALLOT, 1991), avec nom de l'auteur en majuscules et renvoient à une liste bibliographique finale arrangée par ordre alphabétique des noms d'auteurs. Lorsqu'une référence comporte plus de deux noms, elle est citée dans le texte en indiquant le premier nom suivi de *et al.* (abréviation de *et alii*) et de l'année, mais tous les noms d'auteurs doivent être cités dans la bibliographie. Dans celle-ci, les citations sont présentées comme dans les exemples suivants : CALLOT H. 1991. Coléoptères *Dytiscidae* des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 1 : 7-16 ou pour un livre : BOUCHARDY C. 1986. La loutre. Ed. Sang de la Terre. Paris. 174 p. Pour tout ouvrage, on indique l'éditeur et la ville d'édition ; s'il s'agit d'une thèse, rajouter «Thèse» avec la discipline et l'Université.

Dans la bibliographie, les noms scientifiques, ainsi que les noms de revue et les titres d'ouvrages seront imprimés en italiques. L'auteur vérifiera l'exactitude des abréviations des noms de revue ; en cas de doute mentionner le nom entier de la revue. S'il y a moins de 5 références, elles peuvent être citées complètement dans le texte entre parenthèses sans mentionner le titre ; par ex. (CALLOT, 1991, *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 1 : 7-16). Aucune référence non mentionnée dans le texte ne doit figurer dans la bibliographie. Les notes infra-paginales sont à éviter ; Les noms vernaculaires doivent comporter, comme les noms scientifiques, une majuscule à la première lettre du nom du genre et une minuscule au nom d'espèce (ex.: le Faucon pèlerin), sauf nom de personne (ex.: le Vespertillon de Daubenton) ou géographique (ex.: le Sympétrum du Piémont) ou lorsqu'un adjectif précède le nom du genre (ex.: le Grand Murin) ou encore lorsque le nom d'espèce ou de genre remplace le nom complet (ex.: l'Effraie pour la Chouette effraie). Par contre, les noms vernaculaires de groupe ne doivent pas comporter de majuscule (ex.: les lycopes) à la différence des noms scientifiques (ex.: les Ptéridophytes). Les dates données en abrégé seront présentées de la façon suivante : 10.07.87.

Dans le texte, seuls les noms d'auteurs sont à écrire complètement en majuscules ; le reste, y compris les titres et lieux géographiques sera dactylographié en minuscules.

Un résumé d'une demi-page au maximum sera inclus pour les articles, avec traduction en allemand et anglais. L'adresse de l'auteur doit figurer au début sous le titre de l'article. Trente tirés-à-part sont offerts à l'auteur ou au groupe d'auteurs ainsi qu'un exemplaire de la publication.

ÉDITORIAL

Le déroulement monotone des champs de maïs qui, en peu d'années, a profondément altéré l'aspect des paysages, donne une idée du spectacle affligeant d'une terre dont la biodiversité serait réduite à sa plus simple expression. La situation actuelle résulte d'une concession aux intérêts économiques. Elle est néanmoins l'une des multiples facettes d'un processus qui conduit chaque jour de nombreuses espèces animales et végétales à disparaître définitivement de la surface du globe.

Une telle évolution est-elle inéluctable?

Les données paléontologiques nous apprennent que, à de rares exceptions près, le destin de toute espèce vivante est l'extinction. En moyenne, la durée de persistance d'une espèce sur la scène de la vie est de un à deux millions d'années. Elle échappe forcément à l'expérience d'une existence humaine. Au rythme des temps géologiques, les formes disparues sont relayées par des espèces nouvelles. Mais contrairement à une opinion répandue, l'augmentation du nombre des espèces ne suit pas une courbe exponentielle. A certaines époques, des changements dramatiques intervenus dans le contexte planétaire ont provoqué l'extinction massive et simultanée des êtres vivants. Ce sont les crises biologiques. La plus grave d'entre elles fut celle de la fin de l'ère primaire il y a 250 millions d'années ; la plus médiatisée en revanche, celle qui scella le sort des dinosaures, il y a 65 millions d'années, à la fin de l'ère secondaire. A chaque crise succéda un renouvellement des faunes et des flores.

Depuis deux millions d'années environ c'est-à-dire depuis l'ère quaternaire, nous sommes engagés dans une crise biologique majeure déclenchée par une dégradation climatique qui est à l'origine des glaciations. La richesse des faunes et des flores s'en trouve considérablement affectée. S'y ajoute, fait sans doute unique dans l'histoire de la vie, la prolifération excessive d'un prédateur, l'homme.

Tel Janus, l'impact anthropique sur la biodiversité revêt un visage double. Par ses multiples activités, l'homme accentue certes le rythme des extinctions. Mais ayant pris conscience de la fragilité d'un patrimoine vivant édifié au fil des temps géologiques, il a le devoir et la faculté de sauver les espèces menacées de disparition.

Il est devenu le premier gestionnaire de sa planète.

Le premier pas indispensable pour assumer cette responsabilité consiste à recenser la biodiversité de la nature actuelle. Les articles du présent volume des annales scientifiques y contribuent. Ils consignent les résultats de recherches entreprises dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord et du Pfälzerwald sur des écosystèmes fortement marqués par la présence humaine, les forêts. Que leurs auteurs en soient chaleureusement remerciés.

Jean-Claude Gall
Professeur de Géologie à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg

**COMPOSITION DU CONSEIL SCIENTIFIQUE
DU SYNDICAT DE COOPÉRATION POUR LE
PARC NATUREL RÉGIONAL DES VOSGES DU NORD -
RÉSERVE DE LA BIOSPHERE**

Président :

- Serge MULLER, Professeur à l'Université de Metz (laboratoire de phytoécologie).

Membres :

- Marc COLLAS, du Conseil Supérieur de la Pêche.
- Jean-Claude GALL, Professeur à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, (Laboratoire de Paléontologie et de Sédimentologie).
- Véronique HERRENSCHMIDT, chargée de mission pour les affaires internationales de la Direction de la Nature et des Paysages.
- Gilles JACQUEMIN, maître de conférences à l'Université de Nancy I (Laboratoire de Biologie des Insectes).
- Yves MULLER, président de la Ligue pour la Protection des Oiseaux d'Alsace.
- Louis-Michel NAGELEISEN, ingénieur au Département de la Santé des Forêts.
- Arnould SCHAAL, biologiste.
- Jean-François SCHNEIDER, membre de la Commission Permanente d'Etude et de Protection des Eaux Souterraines et des Cavernes de Lorraine.
- Jean-Michel TRENDEL, membre de la Société Mycologique de Strasbourg.

SUMMARY

Editorial	4
Members of the scientific committee	5
M. BRUCIAMACCHIE, G. GRANDJEAN, F. BEDEL et R. PIERRAT - Comparison of different indices for measuring diversity in two forestry massifs in the Northern Vosges.	7 - 34
G. BAILLY - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : populations and plant biodiversity.	37 - 53
P. FOUILLET - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : study of the entomofauna.	55 - 74
I. BLEICHNER et L.-M. NAGELEISEN - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : study of red ants.	75 - 78
Y. MULLER - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : study of avifauna.	79 - 91
L. DUCHAMP, J.-F. SCHNEIDER et B. HAMON - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : study of Bats.	93 - 101
F. KLEIN, P. HEUZE et P. BROSSIER - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : study of forests as a habitat for the Cervidae.	103 - 117
G. LANDMANN et S. MULLER - Biodiversity and forestry management. The Northern Vosges model : summary and general conclusions.	119 - 133
T. BAHUTSKAYA - Study of micromammalian populations in different habitats in the Northern Vosges Biosphere Reserve.	135 - 144
J.-F. SCHNEIDER, F. GRIMM, L. DUCHAMP et L. SEILER - Bats in the cross-border Biosphere Reserve Northern Vosges - Pfälzerwald.	145 - 160
E. LE NUZ - Identification of the presence of the Northern Lynx (<i>Lynx lynx L.</i>) in the Northern Vosges by the trace snare method.	161 - 175

INHALT

Leitartikel	4
Zusammenstellung des wissenschaftlichen Komitees	5
M. BRUCIAMACCHIE, G. GRANDJEAN, F. BEDEL et R. PIERRAT - Vergleich der verschiedenen Diversitäts-Meßindikatoren in den beiden Waldmassiven der Nordvogesen.	7 - 34
G. BAILLY - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Pflanzenbestände und -biodiversität	37 - 53
P. FOUILLET - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Untersuchung der Insekten	55 - 74
I. BLEICHNER et L.-M. NAGELEISEN - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Untersuchung der Roten Waldameise	75 - 78
Y. MULLER - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Untersuchung der Vogel	79 - 91
L. DUCHAMP, J.-F. SCHNEIDER et B. HAMON - Biodiversität und Waldwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Studie der Fledermäuse	93 - 101
F. KLEIN, P. HEUZE et P. BROSSIER - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen : Untersuchung der Wälder als Lebensraum für Cervidaeen	103 - 117
G. LANDMANN et S. MULLER - Biodiversität und Forstwirtschaft. Das Beispiel der Nordvogesen. Synthese und allgemeine Schlußfolgerungen.	119 - 133
T. BAHUTSKAYA - Untersuchung der Populationen von Mikro-Säugetieren in verschiedenen Habitaten des Biosphärenreservates der Nordvogesen.	135 - 144
J.-F. SCHNEIDER, F. GRIMM, L. DUCHAMP et L. SEILER - Die Fledermäuse im grenzüberschreitenden Biosphärenreservat Nordvogesen-Pfälzerwald.	145 - 160
E. LE NUZ - Überhebung des Luchsbestandes (<i>Lynx lynx L.</i>) in den Nordvogesen mittels der Spurenfallen-Methode	161 - 175

Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord

par Max BRUCIAMACCHIE, Guy GRANDJEAN, Frédéric BEDEL
et Rodolphe PIERRAT

Laboratoire de Recherches en Sciences Forestières
ENGREF 14, rue Girardet - 54042 Nancy

Résumé : Depuis quelques années, l'évaluation et la gestion de la biodiversité sont devenues des enjeux importants. Bien que le terme soit très utilisé et abordé dans de nombreuses publications, les modalités de son évaluation, mais plus encore de sa gestion, sont très mal connues. L'objectif du présent article est d'apporter une contribution au choix d'indices de mesure ou de suivi de la diversité. Il a profité de l'expérience des écologistes qui depuis plus de 40 ans essayent de définir et de mesurer la diversité du vivant.

Cette comparaison entre différents indices a été faite en utilisant une étude réalisée pour le compte du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, étude contribuant à évaluer l'influence du traitement forestier sur la structuration des peuplements et ses conséquences sur un certain nombre de communautés animales et végétales.

La biodiversité est une notion qui nécessite tout d'abord de préciser la ou les communautés retenues, puis de fixer la ou les échelles de perception. Reste ensuite à choisir le ou les indices de mesure. Il en existe un très grand nombre. Dans ce contexte, il est apparu que la typologie de peuplement offre une voie d'avenir intéressante.

Les indices classiques fournissent facilement l' α -diversité d'un type de peuplement élémentaire. Ils présentent l'inconvénient d'être transparents vis-à-vis de la composition et par conséquent perdent l'information concernant la répartition spatiale des types de peuplement. L'utilisation d'indices de voisinage inspirés des techniques de traitement d'images permettent quant à eux de mieux prendre en compte cette β -diversité (diversité à l'échelle de la forêt) ou bien d'estimer le nombre de lisières internes.

Summary : For some years, the evaluation and management of biodiversity have been important issues. Although the term is much used and approached in numerous publications, the practical details of its evaluation and further still of its management, are not widely known. The aim of the present article is to make a contribution to the choice of indices for measurement or supervision of diversity. It has taken advantage of the experience of ecologists who, for more than 40 years, have been trying to define and measure, the diversity of life.

The comparison between different indices has been produced using a study carried out on behalf of the Northern Vosges Regional Natural Park, a study which contributes towards the evaluation of the influence of forestry processes on population structures and their consequences on a certain number of animal and plant communities.

Biodiversity is a notion which requires first of all the specification of the communities under consideration, then the definition of the scales of reference. There then remains the choice of measurement indices, of which there is a considerable number. In this context it has appeared that population typology offers an interesting path to the future. The classic indices easily provide the α -diversity of an elementary type of population. They present the disadvantage of being clear in terms of composition but consequently sacrifice information concerning the spatial distribution of population types. The use of proximity indices inspired by image analysis techniques allow, on the other hand, to take better account of the β -diversity (diversity on the scale of the forest) or else to estimate the number of internal boundaries.

Zusammenfassung : Seit einigen Jahren sind Bemessung und Schutz der Biodiversität zu wichtigen Zielen geworden. Obwohl dieser Ausdruck sehr oft verwendet und in zahlreichen Veröffentlichungen behandelt wird, sind ihre Bemessungsweisen und noch mehr die Schutzmassnahmen, sehr schlecht bekannt. Ziel des vorliegenden Artikels ist es, einen Beitrag zur Wahl der Messindikatoren oder zur weiteren Pflege der Biodiversität zu leisten. Er nützt die Erfahrung der Ökologen, die seit über 40 Jahren versuchen, die Diversität des Lebenden zu definieren und zu bemessen.

Dieser Vergleich der verschiedenen Indikatoren wurde unter Verwendung einer auf Konto des Regionalen Naturparks der Nordvogesen durchgeführten Studie vorgenommen. Diese Studie trägt dazu bei, den Einfluß der Behandlung des Waldes auf die Struktur seiner Bestände und ihre Auswirkungen auf eine gewisse Anzahl von Tier- und Pflanzengesellschaften zu ermitteln.

Biodiversität ist ein Begriff, zu dem zuallererst die gewählte(n) Gemeinschaft(en) und dann die Beobachtungsmassstäbe festgelegt werden müssen. Danach müssen der oder die Messindikatoren gewählt werden. Es gibt davon eine grosse Anzahl. In diesem Zusammenhang hat sich gezeigt, dass die Typologie der Populationen einen künftig interessanten Weg darstellt.

Die klassischen Indikatoren liefern leicht die α -Diversität einer Art elementaren Bestandes. Sie haben den Nachteil, bezüglich der Zusammensetzung nichts auszusagen und verlieren daher die Information

über die räumliche Verteilung der Bestände. Die Verwendung von Nachbarschaftsindikatoren, die sich an die Bildverarbeitungstechniken anlehnen, erlauben hingegen besser die β -Diversität zu berücksichtigen (Diversität im Massstab des Waldes) oder aber die Anzahl der internen Waldsäume zu ermesen.

Mots-clés : biodiversité, indices, Vosges du Nord, types de peuplement.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, l'évaluation et la gestion de la biodiversité sont devenues des enjeux importants pour l'ensemble du monde forestier (DERF, 1993 ; ONF, 1993, RFF, 1996). Elles risquent également d'être un point de passage obligé dans la problématique actuelle sur l'écocertification.

Bien que le terme de biodiversité soit très utilisé et abordé dans de nombreuses publications, les modalités de son évaluation soulèvent de nombreuses interrogations. Ainsi, si beaucoup de spécialistes des milieux naturels s'accordent à penser que la biodiversité est un concept primordial, tous ne sont pas prêts à la résumer à un indice voire plusieurs. Cependant, même s'il n'est pas possible de mesurer de manière précise un concept aussi vaste, il reste néanmoins nécessaire d'essayer de le quantifier, de contrôler son évolution.

L'objet du présent article est d'apporter quelques éléments de réflexion sur le choix d'indices de mesure de la diversité. Cela nécessite la définition préalable de l'objet, de l'échelle et du critère de mesure.

L'objet de la mesure

La biodiversité représente la diversité du vivant mais pas uniquement celle des êtres vivants. Ainsi selon NOSS (*in* DECONCHAT, 1994), la biodiversité recouvre la diversité spécifique et la diversité génétique, mais également la diversité des interactions des êtres vivants entre eux et vis à vis des éléments abiotiques. Les individus d'un écosystème entretiennent des relations entre eux et créent une structure où ils exercent des fonctions.

On parle alors de biodiversité de composition, de structure et de fonction (CROW *in* DECONCHAT, 1994).

L'échelle de la mesure

WHITTAKER (*in* PIELOU, 1975), quant à lui, distingue quatre niveaux de diversité biologique, en fonction de l'échelle de perception des phénomènes :

* α -diversité : c'est la diversité en espèces (ou autres éléments écologiques) se partageant le même endroit et potentiellement en compétition pour les mêmes ressources fondamentales à leur survie.

* β -diversité (ou diversité différentielle) : elle se réfère au taux de renouvellement en espèces le long d'un gradient spatial, et inclut de ce fait différents types d'habitat, ou différents stades dynamiques.

* γ -diversité : c'est le niveau de diversité en espèces dans un paysage.

* ε -diversité : c'est l'ensemble de la γ diversité au niveau d'une zone biogéographique.

Il n'est pas toujours facile de distinguer ces différents niveaux de diversité. Ainsi, l' α -diversité est souvent conditionnée par des variations de milieu qui peuvent être rattachées à la β -diversité.

Indice de mesure

Un grand nombre d'indices (figure 1) ont été proposés par divers auteurs pour mesurer la diversité d'une communauté d'êtres vivants à partir d'un échantillon. Tous reposent sur les concepts de base que sont la richesse spécifique, l'hétérogénéité et la régularité.

- La richesse

La plus ancienne et la plus fondamentale des définitions. Elle est basée sur le nombre d'espèces : la diversité est d'autant plus forte qu'il y a plus d'espèces pour un nombre d'individus donné. La richesse d'une variable qualitative est conceptuellement l'analogue de l'étendue, utilisée dans le cas d'une variable quantitative. Son principal inconvénient est qu'elle dépend de la taille de l'échantillon. Il serait préférable d'utiliser des indices qui en soient indépendants. De tels indices supposent l'existence de relations entre le nombre attendu d'espèces et la taille de l'échantillon. De nombreux auteurs ont utilisés une relation logarithmique (MARGALEF, *in* PEET, 1974 ; FISHER *et al.*, 1943 ; FRONTIER *et al.*, 1991). MENHINICK (*in* PIELOU, 1969) a proposé une relation proportionnelle à la racine carrée du nombre d'individus recensés. Les paramètres de ces différentes fonctions sont utilisés comme indices de diversité.

- L'hétérogénéité (ou la diversité)

Partant du principe qu'un échantillon de S espèces équitablement réparties est plus diversifié qu'un échantillon de S espèces dont l'une représenterait la majorité des individus, un second concept doit être envisagé pour définir la biodiversité : celui de l'hétérogénéité. La diversité est un paramètre de dispersion au même titre que la variance pour une variable quantitative.

Ce concept a été introduit par SIMPSON (*in* PEET, 1974). Il est basé sur la probabilité que deux individus pris au hasard appartiennent à la même espèce. Un autre indice, proposé par Mac Intosh, repose sur la représentation d'un échantillon de N individus dans un espace dont le nombre de dimensions est égal au nombre d'espèces de l'échantillon. Pour N donné, plus il y a d'espèces différentes, plus la distance du point à l'origine est petite. L'indice de Shannon-Weaver est le plus connu. Il est issu de la théorie de l'information, et s'apparente à une mesure d'entropie. L'indice de Margaleff est quant à lui basé sur le nombre de combinaisons qu'il est possible de réaliser à partir de la composition de l'échantillon. On démontre que si l'échantillon est assez grand (une centaine d'individus et une dizaine d'espèces), l'indice de Margaleff est identique à celui de Shannon.

- La régularité (ou l'équitabilité)

La diversité varie en fonction de deux paramètres, la richesse et la régularité. En effet, plus il y aura de catégories représentées par au moins un élément, plus l'indice de diversité sera élevé. Aussi, pour comparer l'étalement de deux distributions ayant des richesses différentes, on utilise la régularité qui est indépendante du nombre de catégories. Les indices basés sur la régularité cherchent à traduire l'importance relative des espèces. Ils permettent de mesurer, lors d'une augmentation de la diversité, la part due à l'augmentation du nombre d'espèces et celle qui revient à la régularisation de leurs proportions. L'approche la plus souvent retenue consiste à diviser l'hétérogénéité par son maximum.

Attention, cette définition de la régularité retenue par les écologistes est contraire à l'utilisation habituelle de ce terme par les forestiers. En effet, pour ces derniers, un peuplement forestier sera dit régulier lorsque quelques catégories de diamètre en constituent l'ossature principale.

Le concept de biodiversité n'est donc pas nouveau. Cependant, bien que le terme soit très utilisé et abordé dans de nombreuses publications, les modalités de son évaluation, mais plus encore de sa gestion, sont mal connues (DANAIS, 1982 ; BURTON *et al*, 1992). Ce manque de connaissances ne doit cependant pas empêcher l'aménagiste ou le gestionnaire d'essayer de transformer ce concept, ce souhait de la société, en des termes techniques.

C'est dans ce contexte que le Laboratoire de Recherches en Sciences Forestières de l'ENGREF a réalisé une étude pour le compte du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord dans le cadre du programme «Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace». Lancé en 1994, en collaboration avec l'Office National des Forêts, ce programme a comme objectif d'évaluer l'influence du traitement forestier sur la structuration des peuplements et sur un certain nombre de communautés animales et végétales.

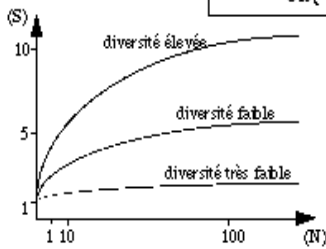
L'objectif du présent article est quant à lui d'apporter une contribution au choix d'indices de mesure ou de suivi de la diversité. Il profite de l'expérience des écologistes qui, depuis plus de 40 ans, essaient de définir et de mesurer la diversité du vivant.

Richesse : nombre d'espèces (S).

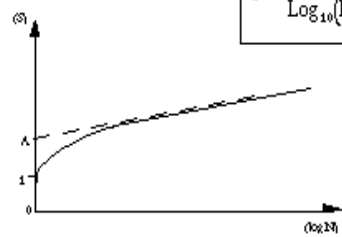
Indices basés sur la richesse

Si (S) est le nombre d'espèces et (N) le nombre d'individus de l'échantillon, il est alors possible de proposer des indices suivant la relation liant (S) et (N).

* (Margalef, 1951)
$$I = \frac{S-1}{\text{Log}_{10}(N)}$$



* (Frontier et al 1995)
$$I = \frac{S-A}{\text{Log}_{10}(N) - \text{Log}_{10}(A)}$$



* (Menhinick, 1964)
$$I = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

* (Fisher et al 1943) α tel que $S = \alpha \text{Log}_{10}(1+N/\alpha)$

Indices basés sur l'hétérogénéité

* indice de Simpson

$$I = 1 \cdot \sum_i p_i^2 \quad (\text{échantillon infini})$$

$$I = 1 \cdot \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{échantillon fini, PIELOU 1969})$$

* indice de Mac Intosh

$$I = \frac{N-U}{N-\sqrt{N}} \quad \text{avec} \quad U = \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}$$

* indice de Shannon

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad \text{échantillon infini}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \left(\frac{N_i}{N} \right) \quad \text{échantillon fini}$$

* indice de Margaleff

$$H = \log_2 \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_S!}$$

Les indices basés sur la régularité

* indice de Mac Intosh

$$I = \frac{N-U}{N-\frac{N}{\sqrt{S}}}$$

* indice de Shannon

$$R = \frac{H'}{\text{Log}_2 S}$$

Figure 1 : Rappel des différents indices de mesure de la diversité.

SITES D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

1. Présentation du programme «Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace»

Le souci de comparer sur un pied d'égalité deux modes de gestion forestière impose de choisir deux forêts proches. Les deux massifs retenus (d'environ 450 ha chacun) sont situés entre les communes de La Petite-Pierre et de Wingen-sur-Moder, dans le Bas-Rhin. Il s'agit de la forêt de Zittersheim appartenant au groupement forestier de Villefranche et traitée en futaie irrégulière et du massif d'Erckartswiller (partie de la forêt domaniale de La Petite-Pierre Nord, gérée par l'Office National des Forêts) retenu en tant qu'illustration de la gestion actuelle en futaie régulière.

Cet objectif ambitieux a été décomposé en tâches élémentaires. Dans un premier temps, les peuplements sont décrits aussi finement que possible. Ensuite, les études comparées des communautés vivantes sur les deux massifs tentent de mettre en évidence les influences de la gestion forestière. Les thèmes suivants sont abordés : étude des stations et des peuplements forestiers ; étude de la flore vasculaire (rôle de la structure des peuplements et du prélèvement par le grand gibier) ; étude de l'avifaune ; étude des chiroptères ; étude des capacités d'accueil des cervidés ; étude de l'entomofaune (carabidés, lépidoptères, fourmis).

Pour des raisons évidentes de compétences et de temps, l'étude se déroule en plusieurs phases (figure 2). La première phase, confiée à l'ENGREF, a été terminée en novembre 1995. Elle a donné lieu à la publication d'un rapport. Cette première phase a elle-même été décomposée en 2 étapes :

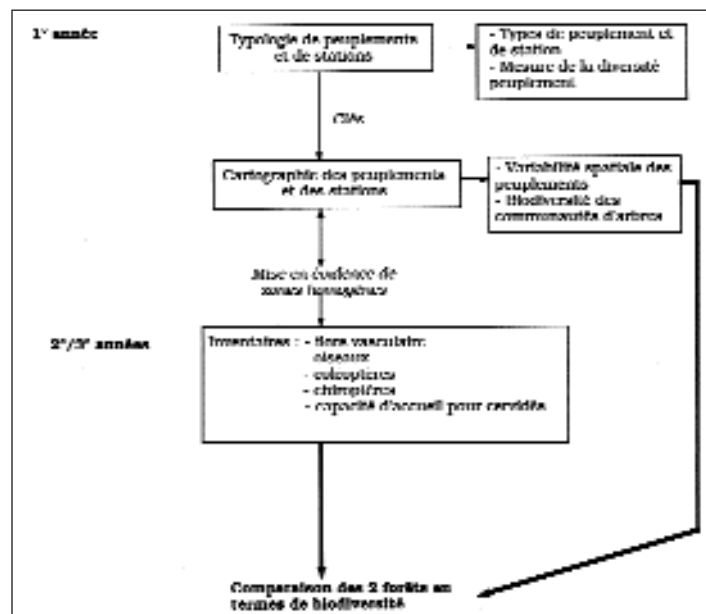


Figure 2 : Déroulement du programme «Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace».

2. Présentation des sites d'étude

2.1. Contexte écologique des deux massifs forestiers

Le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord recouvre la petite région naturelle des Basses Vosges Gréseuses, qui s'étend au nord de Saverne jusqu'à la frontière allemande. C'est une zone de basses montagnes s'étagant entre 200 et 580 m d'altitude, au relief très accidenté.

2.1.1. Climat

Les données climatiques proviennent de la station de Danne-et-Quatre-Vents, située environ 20 km au sud de la zone d'étude, à 380 m d'altitude. Elles représentent les moyennes des valeurs enregistrées de 1951 à 1980.

La température annuelle du mois le plus chaud est de 17,5°C (juillet), celle du mois le plus froid est de 0°C (janvier) froid. La pluviométrie annuelle est de 806 mm et l'on dénombre 80 jours de gelée.

L'amplitude annuelle (17,5°C) est importante. Les précipitations prennent leurs valeurs maximales mensuelles en été et au printemps. Elles sont bien réparties sur l'année, présentant ainsi un régime très favorable à la végétation forestière. Les mois de mai, juin, juillet et août reçoivent en moyenne 39% des précipitations, soit un peu plus du tiers du total annuel. Les fréquents brouillards hivernaux garantissent une humidité relative importante. On note toutefois un nombre de jours de gelée assez important et selon les années, la neige tombe pendant 20 à 40 jours.

Le climat de cette partie sud des Vosges du Nord est tempéré à tendance continentale très nette. Le régime hydrique y est particulièrement profitable à la végétation forestière et la nébulosité est forte.

Sur les deux forêts, l'orientation des vallées est globalement dirigée à l'est et au nord-est. L'influence des vents du sud-ouest, parfois dévastateurs mais aussi humides et doux est donc moins sensible ici qu'aux alentours. En revanche, les vallons sont asséchés en été et refroidis en hiver par les vents du nord-est.

2.1.2. Géologie

Les formations rencontrées sont des grès du Bundsandstein moyen à supérieur, avec pour le Bundsandstein moyen le grès vosgien et le conglomérat principal, et pour le Bundsandstein supérieur les grès intermédiaires ou à Voltzia (très peu représenté).

Le grès vosgien est présent partout jusqu'à une altitude de 320 à 360 m. Cette roche est surtout constituée de quartz et la fraction fine y est rare ; elle est donc à l'origine de sols acides et filtrants. Par ailleurs, l'érosion de ces couches a dessiné de fortes pentes. La couche du conglomérat principal surmonte le grès vosgien sur une épaisseur de 20 m. Ce conglomérat est un poudingue constitué d'une matrice siliceuse identique au grès vosgien et de galets siliceux. Cette couche est peu altérable et détermine souvent une rupture de pente dans le paysage. Enfin, les couches intermédiaires du grès bigarré, caractérisées essentiellement par la

présence d'une fraction fine (intercalations argileuses) coiffent la plupart des plateaux sommitaux sur au plus 70 m d'épaisseur. Les bancs de grès quartzofeldspathique riche en muscovite, alternent avec des intercalations de quelques mètres d'épaisseur, riches en oxydes de manganèse. Les sols formés sur ce type de grès présenteront en général une capacité d'échange en bases supérieure à celle de ceux formés sur grès vosgien et une richesse minérale un peu supérieure (présence de Mn^{2+}). On trouvera en outre, sporadiquement, des taches de grès à Voltzia (grès bigarré riche en fraction fine) sur les crêtes, ainsi que deux types de matériaux marginaux en fond de vallon (colluvions holocènes et alluvions d'âge Mindel). Le grès à Voltzia affleure essentiellement en bordure de la forêt de Zittersheim (lieu-dit le Veinberg).

2.1.3. Pédologie

La zone d'étude présente toute la panoplie des sols acides, des sols bruns acides aux sols podzoliques. Les processus pédologiques intègrent les caractéristiques des roches (caractère filtrant, richesse en argile), mais aussi le colluvionnement, la fraîcheur des versants, l'hydrographie (dont la qualité des eaux), et enfin le type de peuplement forestier.

Les effets de la roche mère sont plus ou moins masqués par des phénomènes liés à la topographie. Les apports latéraux par colluvionnement ou les différences notables de réserve en eau ou d'érosion selon l'exposition et la pente prendront ainsi une grande importance dans l'explication de la pédologie locale sur chaque forêt. La podzolisation est accentuée en cas de situation hydrique défavorable (haut de versant, exposition sud), surtout dans les vallons peu encaissés et à fortes pentes. A l'inverse, les situations plus fraîches correspondent à des sols plus riches.

Les alluvions et surtout les colluvions recouvrent une grande partie du substratum géologique. Sur la majeure partie des versants, on estime leur profondeur à 3 mètres, et jusqu'à 5 mètres en bas de pente. Selon la topographie, ces derniers seront de nature différente :

- si la pente n'est pas surmontée par une couche de grès intermédiaire, les colluvions sont très filtrants et sont le siège d'un début de podzolisation ;
- lorsque cette couche existe, un lessivage d'éléments fins peut enrichir localement les colluvions en contrebas du conglomérat (apparition de sols relativement riches en milieu de versant) ;
- en situation de fortes pentes, les matières organiques et minérales sont fortement lessivées. Les sols de milieu de versant peuvent être très pauvres et ceux de bas de versants relativement riches ;
- les vallons très encaissés présentent un abondant ruissellement diffus le long des versants, d'où le développement dans le fond de colluvions sablonneuses holocènes avec des sols à pseudogley.

2.1.4. Végétation naturelle

(D'après TIMBAL, 1985 : carte de végétation de l'Alsace au 1/200 000).

La grande majorité du périmètre d'étude est couvert par les sous-séries acidophiles du Hêtre des étages collinéen supérieur et montagnard inférieur

(association du *Luzulo-Fagetum*). Ces sous-séries, appartenant à l'alliance du *Quercion robori-petraeae*, présentent quelques variantes selon les conditions stationnelles :

- collinéen supérieur : un seul type, la hêtraie acidiphile à *Luzula luzuloides* ;
- montagnard inférieur : 3 variantes, soit, par ordre de tolérance croissante à l'acidité ;
- la hêtraie à *Luzula luzuloides* (mésacidiphile) ;
- la hêtraie à *Deschampsia flexuosa* ;
- la hêtraie à *Vaccinium myrtillus* (acidiphile).

Sur certains versants sud, on trouve également des forêts acidiphiles à Chêne sessile dominant, qui font toujours partie de l'alliance du *Quercion robori-petraeae* (association du *Luzulo-Quercetum*). Elles sont rattachées à l'étage collinéen supérieur et constituent des groupements à tendance xéroacidiphile (groupement à espèces de mor-moder telles que *Deschampsia flexuosa*, *Vaccinium myrtillus*, *Luzula sp.*). Cette série présente trois types de variantes (thermophiles, montagnardes et hygrophiles).

Dans des contextes particuliers, quelques climax stationnels se substituent à ces formations dominantes :

- en fond de vallon, aulnaie-frênaie sur alluvions ou aulnaie marécageuse ;
- sur conglomérat principal affleurant, où le Pin sylvestre se développe probablement spontanément dans des formations proches des pinèdes xérophiles primaires du *Leucobryo-Pinetum*.

Les essences naturelles les plus représentées sont donc le Hêtre, très nettement dominant au sein de la hêtraie climacique, puis le Chêne sessile, le Pin sylvestre, le Chêne pédonculé sans oublier diverses essences tolérantes à l'acidité (Chataîgnier, Charme, Aulne glutineux, Frêne commun, Erable sycomore, etc...). Le Sapin pectiné se trouve en limite nord de son aire de répartition.

2.2. Différences entre les deux massifs forestiers

Les variations les plus significatives concernent la topographie et le réseau hydrographique. Les milieux non strictement forestiers représentés à proximité immédiate de chaque forêt doivent également être évalués comme composante du contexte naturel. La présence de tels milieux en lisière peut en effet enrichir la flore ou la faune rencontrée en forêt, mais sans que les espèces supplémentaires soient nécessairement forestières.

2.2.1. Topographie

* Exposition : Dans les deux forêts, une dominance des stations nord et sud apparaît, ainsi qu'une faible représentation des expositions ouest. La forêt de Zittersheim présente une majorité de situations nord, alors qu'on observe une très nette dominance des expositions sud sur la forêt d'Erckartswiller.

* Relief : Les dénivellations, les pentes et les altitudes sont comparables sur les deux massifs, mais on constate une différence concernant le confinement des

versants. Ainsi, les vallons sont souvent très encaissés dans la forêt de Zittersheim, alors qu'ils le sont moins dans la forêt d'Erckartswiller. Corrélativement, on ne trouve pratiquement pas de fonds de vallons plats et ouverts dans la forêt de Zittersheim, alors que ces situations sont un peu mieux représentées dans la forêt d'Erckartswiller.

2.2.2. Géologie

Les grès intermédiaire et vosgien, ainsi que le conglomérat et les colluvions holocènes sont représentés sur chaque forêt, et ce dans des proportions comparables.

Au niveau géomorphologique, on note des différences quant à l'intensité de l'érosion. En effet, sur la forêt de Zittersheim, les croupes et haut de versant n'ont pas été érodés aussi intensément qu'à Erckartswiller (le grès intermédiaire est encore présent).

2.2.3. Réseau hydrographique

La forêt de Zittersheim se trouve sur le bassin-versant de la Moder. Celle d'Erckartswiller forme la partie nord de celui de la Meisenbach. La densité des ruisseaux est assez élevée sur la forêt de Zittersheim et un peu plus faible sur la forêt d'Erckartswiller. La différence entre les deux forêts est plus marquée si l'on considère les ruisseaux permanents, puisque dans la forêt d'Erckartswiller plusieurs ruisseaux sont secs en été, du fait de la prédominance des expositions sud. Outre la fraîcheur d'ensemble des milieux forestiers qu'elles accentuent, ces sources offrent une multitude d'habitats particuliers (mares, dalles de grès affleurantes).

2.2.4. Végétation naturelle

Les différences d'exposition entre les deux massifs apportent une nuance au sujet de la végétation naturelle potentielle. Tout d'abord, la forêt d'Erckartswiller, plus riche en expositions sud, présente un plus grand nombre de situations d'indigénat du chêne : forêts acidiphiles à Chêne sessile dominant de l'alliance du *Quercion robori-petraeae*. Ensuite, la forêt de Zittersheim comporte probablement des sapinières climaciques. Ceci est certes discutable puisque le sapin est à la limite nord (et en limite altitudinale) de son aire de répartition ; toutefois il est clair que les situations fraîches propres à la forêt de Zittersheim sont plus favorables à l'installation du sapin que celles qui règnent sur le massif d'Erckartswiller.

2.2.5. Milieux environnants

* Les prés et les champs. On rencontre essentiellement des prés, des champs de céréales et de colza. Ces milieux ont sans doute une influence marquée sur la forêt de Zittersheim, puisqu'ils l'entourent sur plus de la moitié de son périmètre. En revanche, la forêt d'Erckartswiller est un peu plus à l'écart de ces milieux ouverts, qui ne la bordent que sur environ un quart de son périmètre. A ces surfaces utilisées par l'agriculture, il faut ajouter la présence de petites prairies

(généralement moins de 1 hectare) enclavées dans la forêt, assez fréquemment observées en forêt de Zittersheim comme en forêt d'Erckartswiller. Ces clairières devront notamment être prises en compte dans l'estimation de la capacité d'accueil du gibier. Quelques-unes de ces prairies sont incluses dans les parcelles forestières, alors que la plupart sont hors du périmètre cadastral des forêts étudiées. Il conviendra donc de discuter selon le cas si l'on considère ou non que le maintien de ces prairies constitue une pratique de gestion forestière à but cynégétique.

* Les étangs et marécages. Dans les fonds de vallons, on trouve quelques petits étangs ou points d'eau, plus nombreux toutefois sur celle de Zittersheim. Ces étangs peuvent en outre se prolonger par des zones marécageuses (phragmitaies, prairies à molinie, prairies humides à laîches), notamment sur la forêt de Zittersheim.

* Les vergers. Quelques vergers bordent les forêts d'Erckartswiller et de Zittersheim, en fond de vallée ou sur les plateaux. Ces vergers sont constitués d'arbres âgés (essentiellement des cerisiers, des pommiers, des poiriers et des noyers).

* Autres milieux plus anthropisés. Les deux forêts sont entourées par quelques villages d'importance moyenne, soit du sud vers le nord de La Petite-Pierre et Erckartswiller (forêt d'Erckartswiller), Moderfeld, Zittersheim et Puberg (forêt de Zittersheim).

2.3. Principes de gestion appliqués aux deux forêts

2.3.1. A Erckartswiller

La série n°1 de la forêt domaniale de La Petite-Pierre Nord, dont fait partie la forêt d'Erckartswiller, est affectée, selon les termes de l'aménagement en cours (1989-2008) principalement à la production de bois d'œuvre, «associée à un objectif plus général de protection du milieu naturel et de la diversité écologique». Elle est gérée en futaie régulière, et ce depuis plus d'un siècle et demi et est actuellement aménagée selon la méthode dite du groupe élargi.

2.3.2. A Zittersheim

Le Plan Simple de Gestion pour la période 1996-2005 définit ainsi la sylviculture pratiquée sur la forêt de Zittersheim : Elle est traitée, surtout depuis 1980, en «futaie irrégulière par bouquets mélangés et successifs».

La gestion pratiquée exclut les coupes rases et le contrôle par surface, au profit d'une sylviculture d'arbre. L'objectif est de faire croître les arbres en diamètre jusqu'à leur valeur économique maximale. Les notions d'âge d'exploitabilité et de diamètre d'exploitabilité ne sont pas utilisées dans ce mode de gestion. Elles sont remplacées par la notion de contribution de l'arbre au peuplement par l'intermédiaire des différentes fonctions qu'il assume :

- stabilisation du peuplement : des individus de forte taille sont conservés car ils jouent un rôle de stabilisateurs, souvent en lisière, et parfois aussi au sein des peuplements ;

- éducation, par le maintien d'un ombrage, des jeunes individus ;

- maintien de producteurs de graines pour assurer un mélange à long terme ;
- conservation du sous-étage pour le gainage des fûts.

2.4. État actuel des deux massifs forestiers

Ces différences dans les stratégies de gestion doivent toutefois être nuancées au vu des différences observées sur le terrain. On est loin d'une opposition caricaturale entre, d'un côté, une juxtaposition de zones totalement équiennes et monospécifiques à Erckartswiller et, de l'autre, une structure jardinée et mélangée pied à pied sur toute la forêt de Zittersheim.

2.4.1. A Zittersheim

La gestion en futaie irrégulière est d'apparition récente sur la forêt de Zittersheim. Jusqu'à une vingtaine d'années, la gestion en futaie régulière y était tout à fait comparable à ce qui existe actuellement sur le massif d'Erckartswiller. La décision de passer à un régime de futaie irrégulière date en effet de la révision du plan d'aménagement de 1975. Dans certaines parcelles de la forêt de Zittersheim, le processus d'irrégularisation est ainsi à peine amorcé.

Dès lors, l'impact sur la physionomie des peuplements est encore peu marqué, d'autant que les sols pauvres de la région, en limitant la vitesse de croissance des arbres, du point de vue du gestionnaire, ne permettent pas une réaction rapide des peuplements aux changements de sylviculture. De plus, le gestionnaire a le souci constant de gérer au mieux l'existant sans sacrifices d'exploitabilité. L'irrégularisation n'est pas, pour lui, l'objectif prioritaire mais le résultat de la gestion de la valeur individuelle des tiges.

Concernant les peuplements de la forêt de Zittersheim, la tendance est actuellement à la capitalisation en volume (2650 m³ prélevés par an entre 1975 et 1991 et 2500 m³ prévus pour 1996-2005 contre 3160 m³ de 1963 à 1974, la surface de la forêt ayant peu varié sur ces périodes) et surtout en valeur. Pour faire face à un déficit des gros bois, les opérations sylvicoles sont souvent orientées vers le maintien des grosses tiges de qualité.

Du point de vue du gestionnaire, la gestion de la valeur individuelle des tiges a également comme résultat de favoriser un mélange souvent intime des essences. En effet, le gestionnaire privilégie en tous points les essences dont la qualité est maximisée par les conditions locales, à savoir essentiellement la station et l'éclairement, ce dernier paramètre subissant des variations locales importantes en structure irrégulière.

2.4.2. A Erckartswiller

La méthode d'aménagement choisie, à savoir celle du groupe élargi, permet une certaine souplesse dans le choix des âges d'exploitabilité et dans celui des surfaces régénérées d'un seul tenant. Le caractère parfois progressif de la récolte sur certaines parcelles peut conduire à des structures moins régulières qu'ailleurs, mais surtout elle permet de maintenir jusqu'à leur terme d'exploitabilité

des essences secondaires aux côtés de l'essence principale. La surface des unités élémentaires de gestion a de plus été réduite localement par découpage en sous-parcelles. Enfin, certaines trouées de chablis, de surface réduite (le plus souvent inférieure au quart d'hectare), ont été replantées en épicéa, douglas ou mélèze, ce qui occasionne une certaine irrégularité de la structure et des mélanges par bouquets au sein des futaies régulières.

3. Création d'une typologie des peuplements

La typologie des peuplements constitue un outil moderne de la gestion forestière, particulièrement adapté à la gestion des peuplements irréguliers. Elle a été construite en s'inspirant des nombreuses études existantes (BRUCIAMACCHIE, 1989 ; AUBRY *et al.*, 1990 ; HERBERT et REBEIROT, 1985), et notamment celles construites dans un contexte de mesure de la diversité.

Classiquement, une typologie des peuplements est construite à partir de 5 groupes de variables :

- **La composition.** L'ensemble des arbres sont identifiés par leur nom d'espèce, sans faire aucun regroupement (comme par exemple chêne sessile et pédonculé en chênes).

- **La structure en diamètre.** Par convention, les diamètres sont regroupés par classes et les classes en catégories de diamètre. Le choix est le suivant :

Définitions des catégories de diamètre employées :

Catégories	Diamètre (en cm)*	Classes
perche (per)	12,5 - 17,5	15
petit bois (pb)	17,5 - 27,5	20-25
bois moyen (bm)	27,5 - 47,5	30-35-40-45
gros bois (gb)	>47,5	50 et +

* Limite supérieure incluse

- **La structure verticale.** La description se base sur un découpage du plan vertical du peuplement en 6 strates (strates définies par rapport à la hauteur moyenne des trois plus gros arbres de la placette).

- Strate 1 : $0,75H < h < H$
- Strate 2 : $0,5H < h < 0,75H$
- Strate 3 : $0,25H < h < 0,5H$
- Strate 4 : $3 \text{ m} < h < 0,25H$
- Strate 5 : $0,5\text{m} < h < 3\text{m}$
- Strate 6 : strate herbacée ($h < 0,5 \text{ m}$)

- **La structure horizontale.** Une première approche de la structure horizontale est la densité (nombre d'individus par unité de surface), mais cela est très restrictif et ne donne pas d'indication sur la façon dont se répartissent les arbres

les uns par rapport aux autres. Dans notre étude la structure horizontale est appréhendée par l'intermédiaire de la distance entre arbres. Il est alors possible, par exemple, de comparer cette distance moyenne avec la distance moyenne attendue dans l'hypothèse où les arbres sont répartis au hasard suivant une loi de Poisson (CLARCK et EVANS *in* BARY-LENGER, 1967).

- **Autres variables de peuplements retenues.** Un certain nombre d'autres variables sont nécessaires pour décrire la structure des peuplements.

* Le capital sur pied : mesuré par l'intermédiaire de la surface terrière totale.

* La hauteur du peuplement [H] : moyenne des hauteurs de trois arbres de la placette pris parmi les plus grands.

* La taille des houppiers : lors de la phase d'échantillonnage, les houppiers des arbres ont été notés afin de rendre compte en premier lieu du volume du houppier, et en second lieu de la vigueur de l'arbre.

Au total 114 placettes ont été échantillonnées et 3084 arbres mesurés. Cela a permis de distinguer 48 types de peuplement. D'autres types de peuplement ont été définis lors de la phase de cartographie. Il s'agit de peuplements constitués de tiges non précomptables. Leur distinction repose sur l'essence et le stade de développement. Au total la typologie comprend 57 types.

4. Cartographie des deux massifs retenus à l'aide des types de peuplement définis à l'étape précédente

Cette cartographie doit permettre :

* de contribuer à la mesure de la biodiversité totale par la mesure de la diversité arbre. Même si la biodiversité ne peut se résumer à la diversité des arbres, celle-ci est loin d'être négligeable. Il est en effet généralement admis que le mélange d'essences est le garant d'une certaine diversité des autres communautés vivantes (MAYLE *in* DECONCHAT, 1994 ; GREATOREX-DAVIES et MARRS *in* DECONCHAT, 1994). Quoiqu'il en soit, la mesure de la diversité des arbres sur plus de 900 ha constitue en soi un problème technique.

* de mettre en évidence des zones homogènes du point de vue du peuplement.

Parallèlement, une cartographie des stations, s'appuyant sur une typologie de stations, a été réalisée.

La cartographie des deux forêts a été réalisée de manière systématique, avec un point d'arrêt tous les 50 m, en utilisant une grille Nord-Sud et Est-Ouest. La grille élémentaire choisie (1/4 ha) correspond en pratique à l'échelle de ce que l'on voit en forêt. Les peuplements et les stations ont été décrits sur le quart d'hectare entourant le point d'arrêt. La figure 3 fournit les informations recueillies lors de cette phase.

5. Choix des indices de mesure de la biodiversité

La figure 1 fournit les principaux indices utilisés. Certains auteurs reprochent à ces indices de mesure de la diversité de ne pas tenir compte de certains critères relatifs aux espèces, tels que le caractère patrimonial (rareté absolue), ou encore la fragilité d'une espèce. C'est vrai, mais par exemple l'indice de Shannon est plus sensible à des variations de proportions d'espèces rares, alors qu'à l'inverse l'indice de Simpson sera plus sensible à des variations d'espèces communes (PEET, 1974).

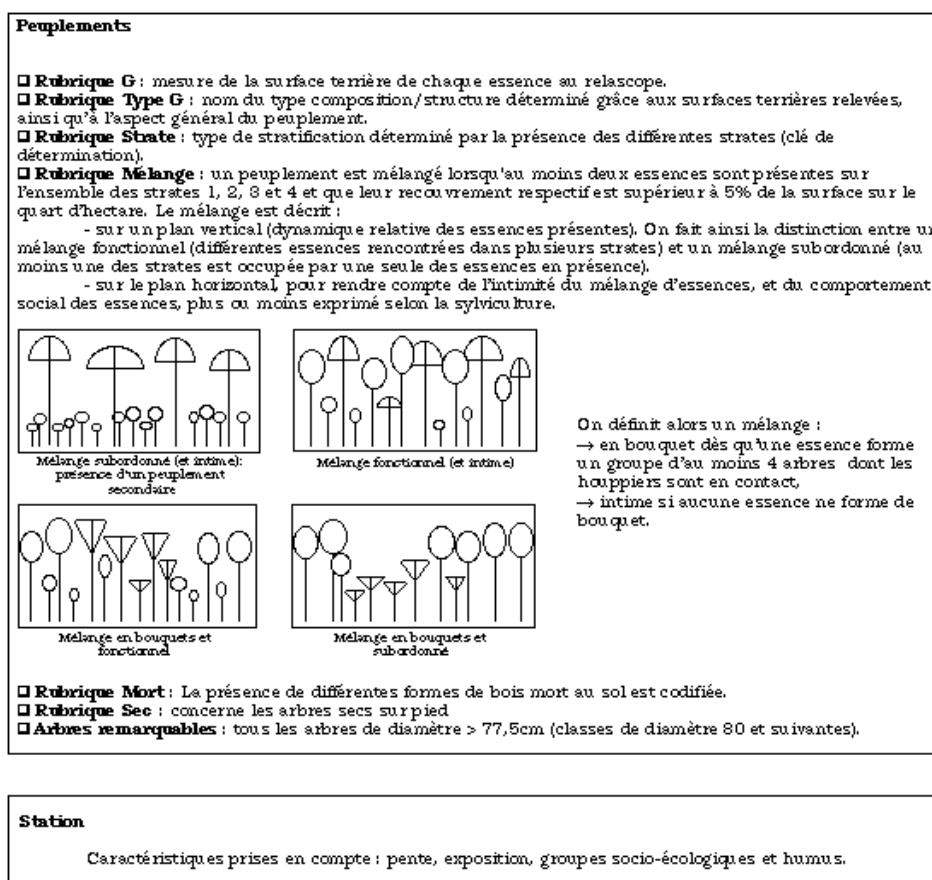


Figure 3 : Informations collectées durant la phase de cartographie des massifs.

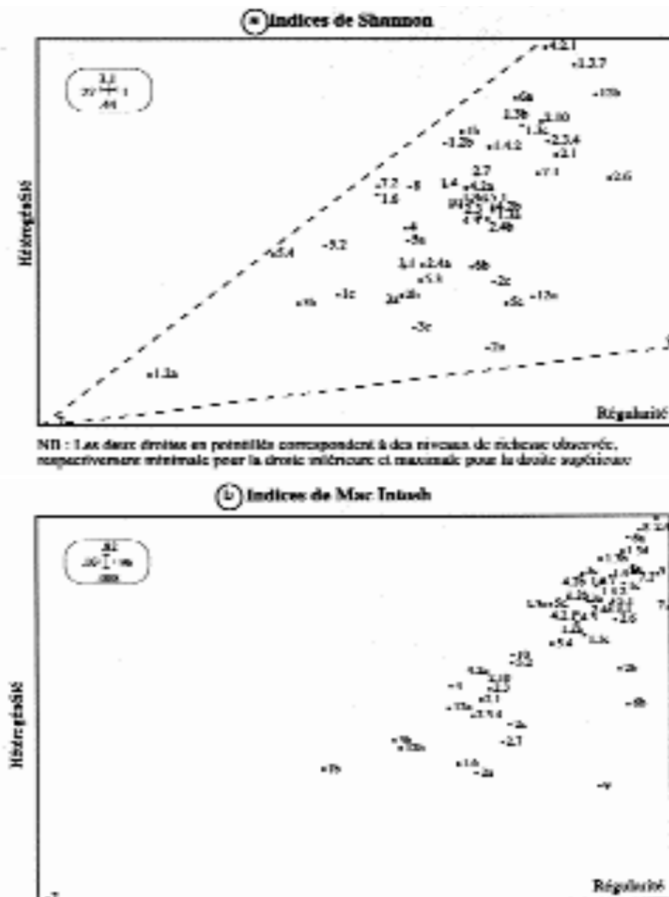
On peut également distinguer deux types d'indices : ceux basés sur le nombre d'individus (Margaleff, Mac Intosh), ceux basés sur la fréquence des individus (Simpson, Shannon). L'intérêt de ces derniers étant que l'on peut remplacer les fréquences en individus par des fréquences en surface terrière. Ceci revient à accorder plus d'importance aux gros bois qu'aux petits, à mesurer une diversité de couverture au sol au lieu d'une diversité d'individus. Ces deux approches (nombre ou couvert) ont été retenues. Elles conduisent à des éclairages différents. L' α -diversité d'un type élémentaire a été calculée en utilisant les proportions des

différentes espèces par catégories de diamètre. De ce fait, les indices ne reflètent pas seulement une diversité de composition mais également une diversité de catégories de diamètre. Pour les indices de Shannon et Simpson, la variable utilisée est la surface terrière. L'indice de Mac Intosh a été calculé à partir des nombres d'individus. La principale difficulté réside dans le calcul de la β -diversité. Ce point sera largement évoqué ci-après.

RÉSULTATS

1. Mesure de la diversité à différentes échelles

Les indices évoqués ci-dessus se prêtent plus ou moins facilement à la mesure de la diversité à différentes échelles. Prenons à titre d'exemple les types de peuplement.



Les graphiques ci-dessus visualisent la projection des différents peuplements vis-à-vis de la régularité et de l'hétérogénéité, et avec selon deux axes les valeurs calculées. Shannon en fonction de surface terrière et Mac Intosh en fonction du nombre de tiges. Les peuplements sont désignés par l'arrondissement d'un ou de plusieurs chiffres en fonction de leur composition, les chiffres à deux chiffres indiquent les feuillus avec des chiffres pairs. D'une manière générale les lettres de "A" à "C" correspondent à des niveaux de régularité croissants depuis les points 1, 2, jusqu'aux points 30, 31. A titre d'exemple, le peuplement 1,2a correspond à un peuplement composé de pins sylvestres, des hêtres et épicéas dans une forêt.

Figure 4 : Mesure de la diversité par utilisation d'indices de Shannon ou de Mac Intosh.

1.1. Diversité à l'échelle du quart d'hectare ou α -diversité

Les représentations graphiques de la figure 4 permettent d'analyser les types de peuplements les uns par rapport aux autres en terme de diversité d'espèces et de structure en diamètre. Délibérément dans cette figure, les indices de Shannon ont été calculés en surface terrière alors que ceux de Mac Intosh le sont en nombre de tiges. A régularité égale, l'augmentation de la diversité est due à l'apparition d'une nouvelle espèce ou d'une nouvelle catégorie de diamètre, c'est-à-dire une augmentation de la richesse. A richesse égale, l'augmentation de la diversité est due à une meilleure répartition de la biomasse (pour Shannon) ou des individus (pour Mac Intosh) parmi les différentes espèces et catégories de diamètre, c'est-à-dire une augmentation de la régularité.

Dans la représentation de Shannon, les peuplements se répartissent sur des droites passant par l'origine et dont la pente correspond à une valeur donnée de la richesse. Rappelons que l'indice de diversité de Shannon vérifie : Diversité = régularité \times \log_2 Richesse.

Si l'on croise les informations selon Shannon et Mac Intosh, une telle représentation permet d'apprécier les nuances entre peuplements. Par exemple, sur le graphe de Shannon, le type de peuplement 1.2b (pineraie hêtraie régularisée bois moyen) a des indices plus forts que le type 1.2a (pineraie hêtraie régularisée gros bois). Il présente une richesse plus forte (son point se place sur une génératrice de plus forte pente) et surtout une régularité (en biomasse) plus forte (abscisse supérieure). En revanche, sur le graphe de Mac Intosh, la diversité du type 1.2b reste un peu supérieure, alors que la régularité (exprimée cette fois en nombre d'individus et non en biomasse) est à peu près égale entre les deux types. Ceci s'explique par le fait que le hêtre joue le rôle de sous-étage dans le type 1.2a.

L'indice de Shannon utilisé en nombre conduirait à une représentation proche de celle obtenue avec l'indice de Mac Intosh.

1.2. Diversité à l'échelle de la forêt

La mesure de la diversité à l'échelle d'une forêt (β -diversité ou indices de voisinage) est bien évidemment un problème plus complexe à résoudre. A titre d'exemple, il n'est pas possible de passer de l' α -diversité à la β -diversité en utilisant des moyennes d'indices de Shannon (c'est également le cas pour les autres indices). En effet l'indice de Shannon présente l'inconvénient d'aboutir au même résultat bien que la composition par essence puisse être différente.

Soit une forêt très simple constituée de 2 pixels (carré de 50 m de côté). Le tableau suivant fournit la répartition en essences des 2 pixels et de la forêt (les pixels ont le même poids).

	Chêne	Hêtre	Epicéa	Sycomore	Shannon
Pixel1	0,25	0,50	0,25		1,5
Pixel2		0,25	0,50	0,25	1,5
Forêt	0,13	0,38	0,38	0,13	1,81

On constate :

- que les 2 pixels, bien que différents, ont la même valeur
- que l'indice de Shannon sur l'ensemble de la forêt diffère selon le mode de calcul : moyenne des α -diversité (1,5) ou bien diversité sur l'histogramme moyen (1,81). C'est cette dernière solution qui a été retenue pour l'analyse globale au niveau de la forêt (cf 2. Résultats à l'échelle de la forêt ci-après). Il est bon de remarquer que ce type d'analyse établie à partir d'un regroupement de points de sondage nécessite, si on souhaite tester d'éventuelles différences (par forêts, par stations, ...), de connaître la loi de probabilité de l'indice utilisé. Ce procédé de mesure de la β -diversité peut également paraître «grossier», mais il constitue une première étape suivie par une analyse des variations au quart d'hectare à l'aide d'indices de voisinage.

1.3. Indices de voisinage

L'objectif poursuivi était de fournir aux autres partenaires du projet des zones homogènes. Les techniques utilisées s'inspirent de ce qui est pratiqué en analyse d'image. Le traitement appliqué consiste à comparer chaque pixel (quart d'hectare) inventorié (il y en a au total environ 4000) par rapport aux pixels limitrophes. A chaque pixel d'analyse est affectée une valeur mesurant une distance «écologique» par rapport aux pixels voisins. Une distance basée sur l'indice de Shannon n'est pas pertinente car elle est transparente vis à vis de la composition en essences (dans l'exemple précédent elle conduit à considérer que les 2 pixels sont identiques). Tout naturellement nous nous sommes orientés vers une distance euclidienne utilisant les coordonnées factorielles calculées lors de la création des types de peuplements. La figure 5 fournit la projection des types de peuplements sur les axes 1 et 2 de l'AFC.

Pour reprendre le langage utilisé en traitement d'images, différents filtres ont été utilisés (3x3, 5x5) correspondant à des carrés de 150 ou 250 m de côté. Il est tout à fait possible d'en appliquer d'autres. Chaque pixel cartographié se voit donc affecté d'une distance «écologique» obtenue en utilisant la moyenne, l'écart-type, ou la valeur maximale (Dmax) vis-à-vis des 8 ou 24 pixels limitrophes. Une moyenne de ces différentes distances est ensuite calculée sur l'ensemble des pixels des 2 forêts (tableau ci-après).

	Erckarstwiller	Zittersheim
distance moyenne (3x3)	579	751
distance moyenne (5x5)	694	870
Ecart-type (3x3)	497	604
Ecart-type (5x5)	588	684
Dmax	1283	1586

La distance euclidienne moyenne entre chaque pixel et ses voisins a été calculée pour les deux échelles de voisinage.

L'écart-type permet d'analyser si les types de peuplements autour d'un pixel sont proches (écart-type nul s'ils sont tous identiques) ou s'ils sont très différents.

La variable Dmax permet d'estimer le nombre de lisières internes.

Cette méthode originale à notre connaissance nous a permis, par des représentations cartographiques, de mettre en évidence des zones homogènes ou à l'inverse en mosaïque.

Cette étude du voisinage mesure sur l'ensemble des pixels de la forêt, la distance «écologique» à des échelles choisies par l'opérateur (carrés de 150 ou 250 m de côté dans notre cas).

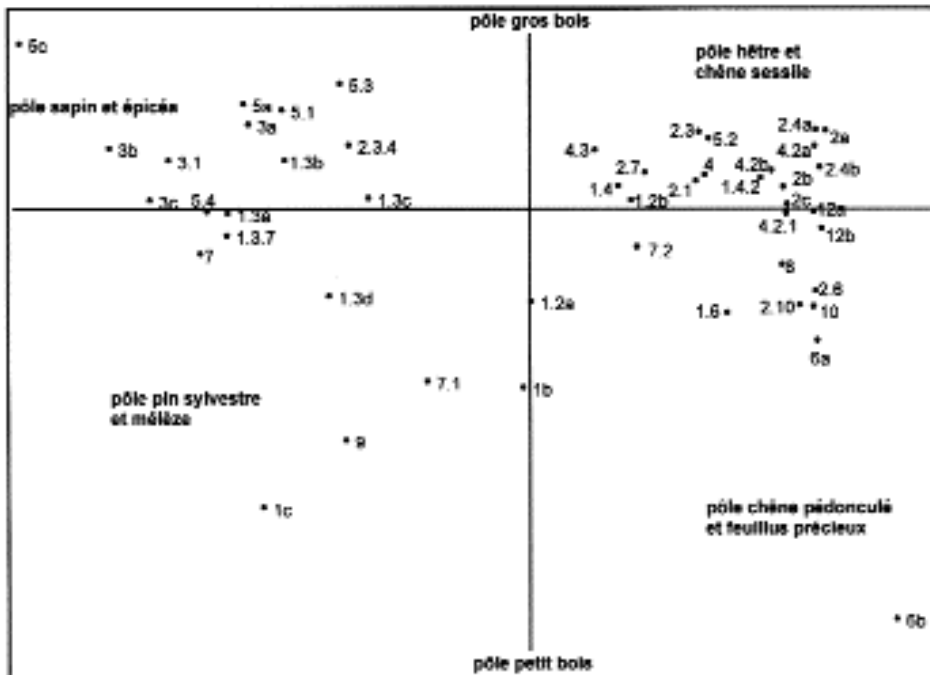


Figure 5 : Projection des types de peuplement sur les axes 1 et 2 de l'AFC.

	Zittersheim	Erckartswiller
<i>Pinus sylvestris</i>	14,9 %	27,3 %
<i>Picea abies</i>	22,9 %	16,1 %
<i>Abies alba</i>	5,3 %	0,5 %
<i>Larix decidua</i>	0,6 %	2,2 %
<i>Pseudotsugamenziesii</i>	0,8 %	0,0 %
<i>Fagus sylvatica</i>	39,1 %	40,3 %
<i>Quercus petraea</i>	13,8 %	10,7 %
<i>Quercus robur</i>	0,5 %	1,1 %
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,0 %	0,2 %
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,7 %	1,0 %
<i>Alnus glutinosa</i>	0,2 %	0,0 %
<i>Quercus rubra</i>	0,0 %	0,0 %
<i>Carpinus betulus</i>	0,4 %	0,5 %
<i>Betula pubescens</i>	0,1 %	0,1 %
<i>Castanea sativa</i>	0,5 %	0,0 %
<i>Prunus avium</i>	0,1 %	0,1 %
<i>Populus tremula</i>	0,0 %	0,0 %
<i>Ulmus</i>	0,0 %	0,0 %
Total	18 espèces	16 espèces

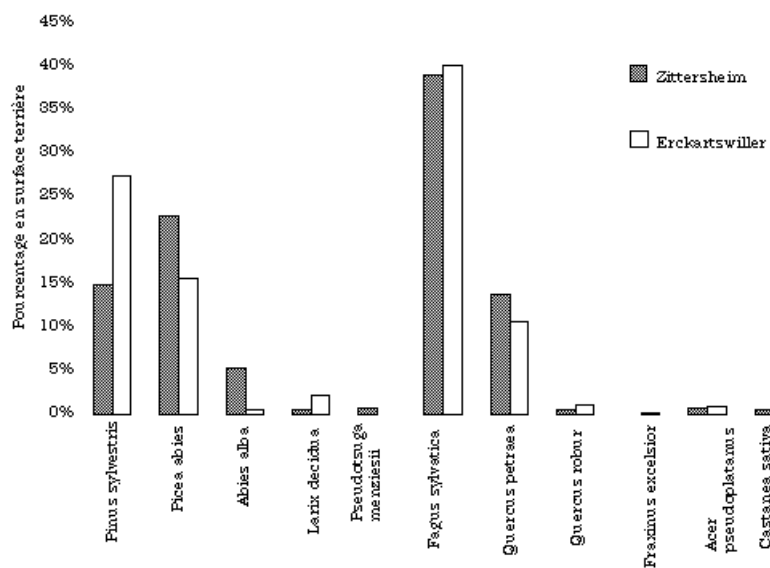
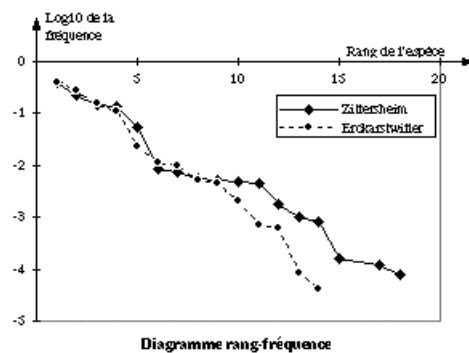


Figure 6 : Comparaison de la diversité spécifique des deux forêts en pourcentage de surface terrière.

2. RÉSULTATS À L'ÉCHELLE DE LA FORÊT

2.1. Composition en espèces

Dix huit essences ont été comptées en forêt de Zittersheim contre 16 en forêt d'Erckartswiller (figure 6). Quatre essences (Hêtre, Epicéa, Pin sylvestre et Chêne sessile) représentent plus de 90% de la surface terrière totale de chacune des 2 forêts. Le Pin sylvestre est plus abondant à Erckartswiller, alors que pour l'épicéa c'est l'inverse. Les différents indices calculés ci-après indiquent une diversité et une régularité supérieure à Zittersheim.

Composition	Zittersheim		Erckartswiller	
	Diversité	Régularité	Diversité	Régularité
Shannon	2,35	0,56	2,18	0,54
Mac Intosh	0,50	0,65	0,48	0,63
Simpson	0,75		0,72	

On constate ainsi que l'indice de Shannon s'élève à 2,35 pour Zittersheim contre 2,18 à Erckartswiller. Les différences constatées sont donc faibles. Etant donné que les indices globaux ne peuvent pas être calculés par la moyenne des indices locaux, tester la significativité de la différence nécessite de connaître les lois de probabilité des différents indices. A titre d'exemple la loi de probabilité de l'indice de Shannon a été simulée (figures 7 et 8). Cette loi a été calculée de manière numérique en faisant l'hypothèse que chacun des π_i suit une loi normale.

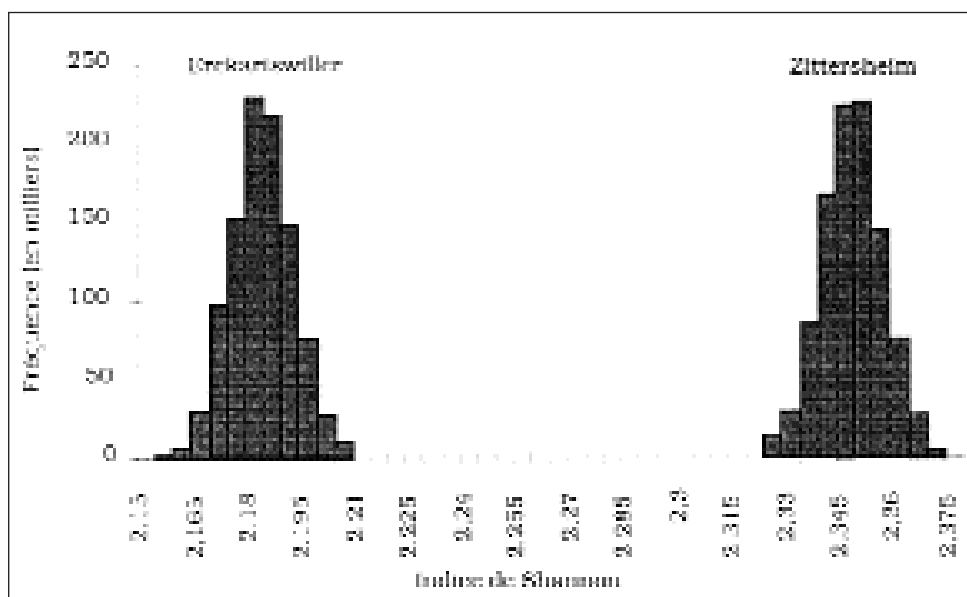


Figure 7 : Loi de probabilité de l'indice de Shannon.

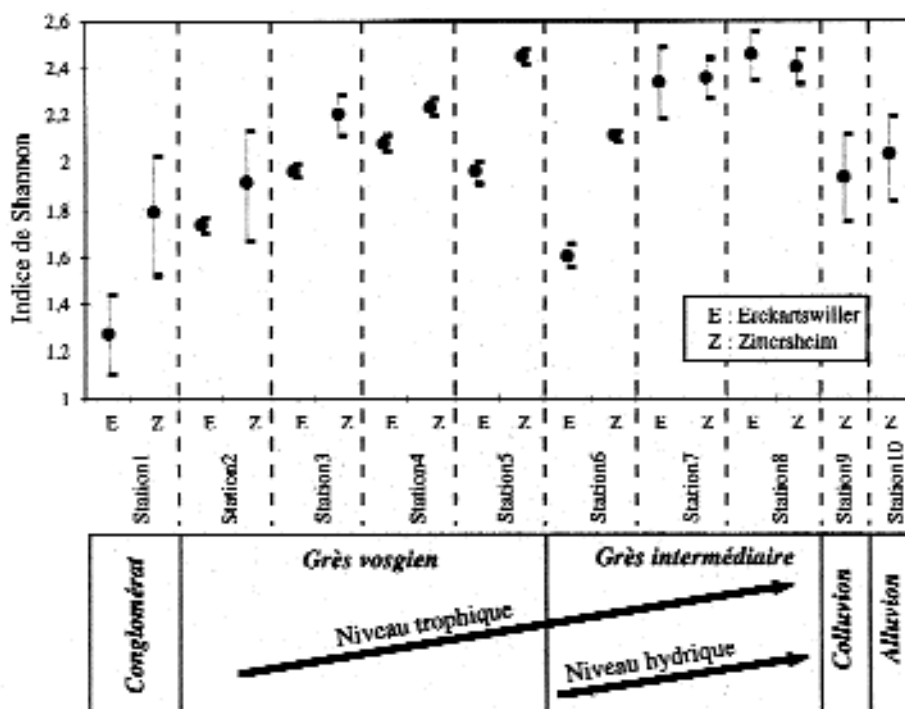


Figure 8 : Comparaison, à station égale, des deux forêts vis à vis de l'indice de Shannon.

La principale difficulté à résoudre est de faire en sorte que la somme des probabilités soit égale à 1. La figure 7 fournit la distribution de l'indice global de Shannon pour les deux forêts. On constate que les deux forêts sont significativement différentes puisque les deux histogrammes ne se recoupent pas. La figure 8 fournit également la diversité de composition en surface terrière mais cette fois-ci par station. Sur cette figure sont représentées la moyenne et l'intervalle de confiance de l'indice de Shannon. On constate que la diversité augmente avec la fertilité, que ce sont les stations intermédiaires qui offrent la plus grande diversité, et qu'en général à station égale Zittersheim est plus diversifiée.

Décrire la diversité d'une communauté par un simple indice peut apparaître parfois trop réducteur (FRONTIER *et al.*, 1995). Les diagrammes rangs-fréquences (figure 6) en fournissent une image plus complète. Le nombre d'espèces et la régularité sont directement lisibles sur ce type de graphique. Le nombre d'espèces se voit à l'extension de la courbe vers la droite, la régularité à son allure plus ou moins concave (régularité faible) ou convexe (régularité forte).

2.2. Types de peuplement

Au total 53 types de peuplement ont été inventoriés à Erckartswiller contre 51 sur le massif de Zittersheim. La typologie de peuplement permet de synthétiser, qualitativement et quantitativement, des variables de composition, de structure, et

de capital sous la représentation de types de peuplement. Ainsi, ces derniers sont à la typologie de peuplement ce que sont les espèces à la systématique. Il est alors possible de proposer un indice de diversité des types de peuplements forestiers pour un massif donné.

Types de peuplement

	Zittersheim		Erckartswiller	
	Diversité	Régularité	Diversité	Régularité
Shannon	4,81	0,85	5,03	0,88
Mac Intosh	0,79	0,90	0,82	0,93
Simpson	0,95		0,96	

Les indices de diversité montrent une diversité et une régularité plus forte sur le massif d'Erckartswiller pour les types de peuplement. Ceci s'explique par la quasi-inexistence de jeunes peuplements à Zittersheim. Comme pour la composition en espèces, il est possible de tester d'éventuelles différences.

2.3. Mélange

Fréquences des différentes modalités de mélange

Zittersheim		Erckartswiller	
pas de mélange	38,5%	pas de mélange	37,8%
peuplement mélangé en bouquet	0,3%	peuplement mélangé en bouquet	3,9%
jeune peuplement en mélange intime	0,2%	jeune peuplement en mélange intime	3,2%
subordonné non mélangé	1,3%	subordonné non mélangé	0,5%
subordonné en bouquets	3,6%	subordonné en bouquets	1,0%
subordonné intime	5,4%	subordonné intime	9,9%
fonctionnel en bouquets	14,2%	fonctionnel en bouquets	15,4%
fonctionnel intime	36,5%	fonctionnel intime	28,2%

Les peuplements monospécifiques représentent une part importante sur les deux massifs (près de 40%). Si on analyse le mélange à l'échelle des communautés d'arbres, l'avantage est à la forêt de Zittersheim puisque 50,7% de sa surface sont constitués de peuplements en mélange fonctionnel contre 43,6% à Erckartswiller. Cette façon de procéder ne fait appel qu'à la notion de pourcentage. Il est donc très facile de calculer des intervalles de confiance de l'estimation ou bien de tester d'éventuelles différences.

3. UTILISATION DE DONNÉES PROVENANT DE PLACETTES PERMANENTES

Dans le cadre de sa gestion en futaie irrégulière, la forêt de Zittersheim a fait l'objet d'un système de contrôle par placettes permanentes. Ces placettes ont été installées en août 1986 et réinventoriées en septembre 1995.

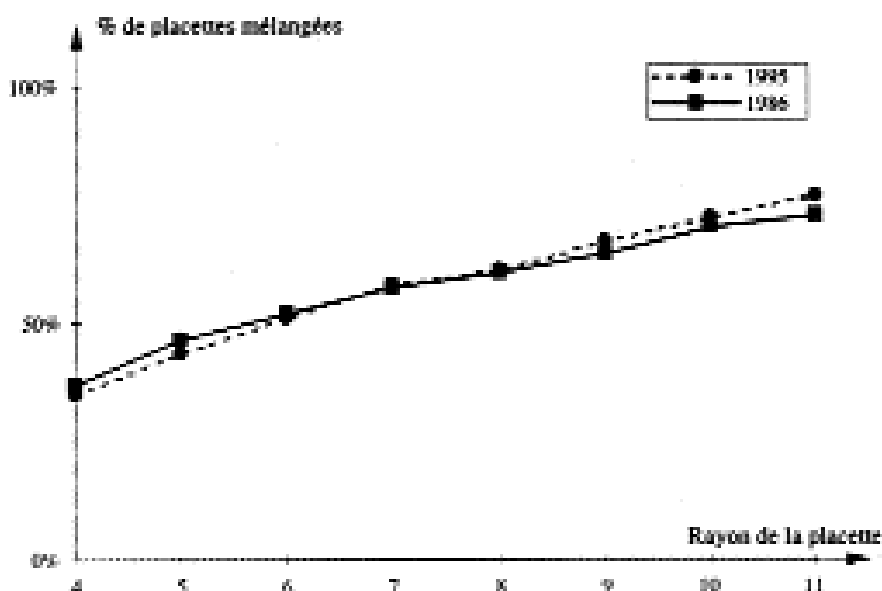
Elles couvrent systématiquement la surface de la forêt de Zittersheim. Elles sont disposées en quinconce, avec une distance entre placettes de 180 m. La taille et le nombre de placettes installées ont été choisis dans un contexte de gestion. Elles sont circulaires, d'une surface de 4 ares ; leur rayon cadastral est donc de 11,28 m.

La distance des arbres par rapport au centre de la placette étant connue, les placettes permanentes peuvent être utilisées pour étudier l'évolution du mélange en fonction de la taille de la placette. On distingue ainsi :

	1986	1995
les placettes vides	7	1
les placettes à faible matériel (G/hainférieur à 5m ² /ha)	6	1
les placettes monospécifiques	31	33
les placettes mélangées (sur un cercle de 4 ares)		
* pas d'arbres sur un cercle de 4m de rayon	6	10
* 1 essence sur un cercle de 4m de rayon	50	56
* 2 essences sur un cercle de 4m de rayon	45	45
* 3 essences ou plus sur un cercle de 4m de rayon	10	9
	155	155

Les deux dernières catégories (plus de 2 essences sur un cercle de 4 m de rayon) correspondent aux placettes les plus mélangées, et ce jusqu'à une échelle relativement petite.

La limite de 4 mètres étant assez arbitraire, il est préférable d'établir un graphique fournissant l'évolution du pourcentage de placettes mélangées en fonction du rayon de la placette. Cette courbe est un bon indicateur de l'intensité du mélange. Elle pourrait être utilisée pour comparer des forêts entre elles.



DISCUSSION-CONCLUSION

La biodiversité est une notion qui nécessite tout d'abord de préciser la ou les communautés retenues, puis de fixer la ou les échelles de perception. Reste ensuite à choisir le ou les indices de mesure. Il en existe un très grand nombre. L'étude entreprise pour le compte du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord a permis une réflexion sur l'utilisation d'indices de diversité (Shannon, Mac Intosh, Simpson, ...) appliqués à la composition en essences, aux types de peuplements et à la stratification. Dans ce contexte, il est apparu que la typologie des peuplements offre une voie d'avenir intéressante.

Les indices classiques de mesure de la diversité fournissent facilement l' α -diversité d'un type de peuplement élémentaire. On constate ainsi que les peuplements à base d'essences à couvert perméable (pin, mélèze et chênes) présentent une bonne diversité de composition et de structure alors que ceux constitués par des essences à couvert imperméable (hêtre, sapin et épicéa) ont une diversité plus faible. Ceci se comprend dans la mesure où des essences comme le hêtre et le sapin éliminent les essences de lumière, d'où une diversité de composition plus faible. De même, les peuplements d'épicéa sont issus de plantation et sont donc moins riches en espèces. Peu de peuplements de hêtre et de sapin sont irrégularisés, mais ceci s'explique par le caractère trop récent de la gestion en futaie irrégulière à Zittersheim.

Les types définis comme mélangés et irréguliers (types 1.3.7, 4.2.1 - figure 4) présentent les indices de Shannon les plus forts, avec une richesse et une régularité très élevées. Cet indice met en évidence l'intimité du mélange, surtout au sein des catégories bois moyens et gros bois (mélange fonctionnel). En complément, les indices de Mac Intosh donnent des valeurs fortes aux types tels que 1.3d ou 2.4b, où une essence est présente en sous-étage (respectivement l'épicéa ou le hêtre). Cette dernière est alors souvent présente en nombre important, d'où une forte régularité. Dans ce cas, l'indice de Mac Intosh met en évidence un mélange subordonné.

Ces indices d' α -diversité peuvent également être utilisés pour calculer la diversité à une échelle supérieure à celle du peuplement. Tester la significativité de la différence entre deux espaces forestiers nécessite alors de connaître les lois de probabilité des différents indices. Par ailleurs, les indices classiques présentent l'inconvénient de fournir parfois la même valeur pour des compositions très différentes, et par conséquent perdent l'information concernant la répartition spatiale des types de peuplement.

L'utilisation d'indices de voisinage inspirés des techniques de traitement d'images permet beaucoup mieux d'appréhender la β -diversité. Différentes tailles de filtres peuvent être utilisées, chacune pouvant être rattachée à des notions d'aire minimale ou de domaine vital. La distance maximale par rapport aux pixels limitrophes pourrait ainsi être utilisée pour estimer le nombre de lisières internes. Ce type d'approche se traduit par la publication de cartes qui pourront être mises à profit pour rechercher soit des zones homogènes, soit à l'inverse fortement hétérogènes.

Les indices de voisinage offrent également un autre avantage. Ils permettent de mieux prendre en compte le problème du non équilibre de l'histogramme des classes d'âge. En futaie régulière, la diversité à l'échelle de la forêt dépend de l'histogramme des classes d'âges. Il suffit d'augmenter la surface en jeunes ou en vieux peuplements pour modifier la valeur des indices. Malgré les efforts mis dans le choix des forêts, l'histogramme d'Erckartswiller n'est pas équilibré. Une des solutions consisterait à pondérer la diversité de chacun des types de peuplement pour se ramener à un histogramme idéal. Cependant la bonne pondération n'est pas facile à trouver. De plus cet exercice très théorique n'offre que peu d'intérêt dans la mesure où aucune forêt n'est équilibrée. En effet, la recherche de l'équilibre des classes d'âge correspond dans la pratique à un véritable travail de Pénélope.

L'étude réalisée a permis de mesurer la biodiversité arbre sur plus de 900 ha. Cela a nécessité la mise au point d'une méthodologie : mise au point d'une typologie des peuplements suivi d'une cartographie au quart d'hectare. La grande quantité d'information ainsi recueillie ne sera pleinement utilisée qu'à la fin du projet lorsque les différentes communautés animales ou végétales auront été échantillonnées. Il sera alors possible de rechercher des corrélations entre ces communautés et les types de peuplements.

L'établissement d'un réseau de placettes permanentes n'est pas indispensable pour une gestion des peuplements irréguliers. Cependant elles offrent de nombreux avantages. Elles répondent à des besoins de gestion : suivi au cours du temps des critères dendrométriques classiques de production (nombre de tiges, volumes, accroissements, valeur marchande, ...). Elles permettent également sans aucun surcoût de suivre des indicateurs écologiques : évolution au cours du temps de l'intensité du mélange, évolution du mélange en fonction de la taille de la placette. Ce dernier aspect est moins connu et mériterait d'être développé.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBRY S., BRUCIAMACCHIE M., DRUELLE P. 1990. L'inventaire typologique : un outil performant pour l'élaboration des aménagements ou plans simples de gestion. *Rev. For. Fr.* XLII, 4 : 429-444.
- BARY-LENGER A. 1967. Etude statistique de la dispersion spatiale des arbres en forêt. *Biométrie-Praximétrie* VIII, 3-4 : 115-148.
- BRUCIAMACCHIE M. 1989. Typologie des peuplements. *Rev. For. Fr.* XLI, 6 : 507-512.
- BURTON P.J., BALISKY A.C., COWARD L.P., CUMMING S.G., KNEESHAW D.D. 1992. The value of managing for biodiversity. *Official Journal of the Canadian Institute of Forestry* 68, 2 : 225-237.

- DANAIS M.1982. La diversité en écologie : analyse bibliographique. *Botanica Rhedonica* série A,(17) : 77-104.
- DECONCHAT M. 1994. Les boisements des terres agricoles comme outil d'aménagement écologique du paysage, Tome 1 : synthèse et catalogue bibliographique sur les effets des bois sur la biodiversité. Conseil régional Midi-Pyrénées. 91 p.
- DERF, 1993. Définition d'une politique nationale de prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière - Circulaire n° 3002 du 28/1/93.
- FISHER R. A., CORBET A.S., WILLIAMS C.B. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Anim. Ecol.* 12 : 42-58
- FRONTIER S. et PICHOT-VIALE D. 1995. Ecosystèmes : structure - fonctionnement - évolution. Masson. Paris. 447 p.
- HERBERT I. et REBEIROT F. 1985. Les futaies jardinées du Haut-Jura. *Rev. For. Fr.* XXXVII, 6 : 465-481.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS. 1993. Prise en compte de la diversité biologique dans l'aménagement et la gestion forestière. 32 p.
- PEET R.K. 1974. The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5 : 285 -307.
- PIELOU E.C. 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience. New York. pp. 221-235.
- PIELOU E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley-interscience. New York. 165 p.
- REVUE FORESTIERE FRANCAISE. 1996. La gestion durable des forêts tempérées. Numéro spécial, 252 p.



Forêt de pins et d'épicéas avec un sous-étage à Zittersheim.

(Photo G. BAILLY)

Biodiversité et gestion forestière L'exemple des Vosges du Nord : peuplements et biodiversité végétale

par Gilles BAILLY
5, route des Forges - Châteauneuf 39700 Dampierre

Résumé : L'indice de diversité de Shannon-Weaver, portant sur la végétation, a été calculé sur cent placettes réparties en Forêt Domaniale de La Petite-Pierre Nord (forêt d'Erckartswiller) et sur la forêt de Zittersheim. Les limites inhérentes au protocole utilisé étant fixées, on montre le rôle essentiel joué par la distribution verticale ou horizontale des strates ligneuses, et donc par l'architecture du peuplement. Des indices très faibles sont fournis par les gaulis monospécifiques et certains stades de futaie régulière de hêtre ou d'épicéa. Les indices élevés se répartissent selon deux modalités structurales : complexification de la stratification verticale, observée sous des futaies irrégulières d'essences post-pionnières (pineraies, pineraies-chênaies) ; complexification horizontale, observée sous des futaies irrégulières dominées par des dryades (hêtre, épicéa, sapin) ou dans des phases d'éclaircies du cycle de la futaie régulière.

Summary : The Shannon-Weaver diversity index, concentrating on plant life has been calculated on a hundred small sites spread throughout the state-owned Forest of La Petite-Pierre North (forest of Erckartswiller) and on the forest of Zittersheim. The inherent limits to the procedure used having been fixed, one can show the essential role played by the vertical or horizontal distribution of ligneous strata, and therefore also by the architecture of the population. Very low indices are provided by the monospecific immature growth and certain stands of regular beech or spruce plantation. High indices are distributed according to two structural modalities : complexification of vertical stratification, observed in irregular plantations of post-pioneer species (pinewood, pinewood-oakwood); horizontal complexification, observed in the irregular plantations dominated by dryads (beech, spruce, fir) or in the cleared phases of the regular plantation cycle.

Zusammenfassung : An 100 über den Staatwald von La Petite-Pierre Nord (Erckartswiller) und den Wald von Zittersheim verstreuten Messplätzen wurde der Diversitätsindex von Shannon-Weaver für die Vegetation errechnet. Nach Festlegung der mit dem verwendeten Protokoll verbundenen Zwänge zeigt man die grundlegende Rolle, die die vertikale und horizontale Verteilung der Holzstraten, also die Architektur der Bestände spielen. Sehr schwache Indexpzahlen ergeben sich bei monospezifischem Niederwald und gewissen Stadien des regelmässigen Buchen- oder Fichtenhochwaldes. Hohe Indexpzahlen verteilen sich nach zwei strukturellen Modalitäten : Komplexifizierung der vertikalen Schichten, wie sie in den naturnahen Hochwäldern von Postpionier-Hölzern (Kiefern-, Kiefern-Eichenwald) beobachtet wird ; horizontale Komplexifizierung, wie sie in den von Dryaden (Buche, Fichte, Tanne) dominierten naturnahen Hochwäldern oder in den Phasen der Lichtungsschläge im Zyklus der regelmässigen Hochwaldes beobachtet wird.

Mots-clés : indice de Shannon, biodiversité, phyto-écologie forestière, Vosges du Nord, analyses multivariées.

La présente étude s'insère dans un ensemble de travaux menés à l'instigation du Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord et l'Office National des Forêts sur le thème «biodiversité et gestion forestière». Elle repose sur une comparaison de deux massifs forestiers : la forêt privée de Zittersheim, gérée selon une sylviculture dite «proche de la nature», et la forêt domaniale de La Petite-Pierre Nord à Erckartswiller, gérée en futaie régulière. Le présent travail se concentre sur l'impact des structures de peuplements sur la richesse et la diversité de la végétation forestière, de l'étage arborescent à la strate

muscinale. Il adopte comme support une typologie et une cartographie des peuplements réalisés par BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999).

I. METHODE

1. Echantillonnage

L'indice de diversité de Shannon-Weaver, portant sur la végétation, a été calculé sur un échantillonnage de cent placettes. Celles-ci ont été réparties équitablement sur les forêts de Zittersheim et d'Erckartswiller de manière à disposer d'un

Code	peuplement	Erckartswiller effectif	Zittersheim effectif
1b	pineraie régularisée bois moyen	-	3
1c	pineraie régularisée petit bois	2	1
1.2a	pineraie à sous-étage de hêtre	2	-
1.2b	pineraie-hêtraie	3	4
1.3b	pineraie-pessière	1	-
1.3c	pineraie-pessière	1	-
1.3d	pineraie-pessière	-	1
1.4	pineraie-chênaie-sessiliflore	-	1
1.4.2	pineraie-chênaie-hêtraie	-	2
2a	hêtraie régularisée gros bois/bois moyen	5	8
2b	hêtraie régularisée bois moyen	5	8
2c	hêtraie régularisée petit bois	5	8
2.1	hêtraie-pineraie régularisée bois moyen	1	1
2.3	hêtraie-pessière régularisée gros bois	1	-
2.4a	hêtraie-chênaie régularisée gros bois	-	1
2.4b	hêtraie-chênaie régularisée bois moyen	-	2
2.7	hêtraie-mélézin	3	-
3a	pessière régularisée bois moyen/gros bois	2	1
3b	pessière régularisée bois moyen	1	7
3.1	pessière-pineraie	-	2
4	chênaie-sessiliflore régularisée bois moyen	1	-
4.2.1	chênaie-hêtraie-pineraie	-	2
4.2b	chênaie-hêtraie régularisée bois moyen	2	5
4.3	chênaie-pessière	2	1
4.7	hêtraie-mélézin	1	-
5.3	sapinière-pessière	-	1
5a	sapinière régularisée gros bois/bois moyen	2	-
6b	chênaie pédonculée régularisée petit bois	2	-
8	peuplement à base de frêne	1	-
10	peuplement à base d'érable sycomore	1	-
F	fourrés issus de plantation	5	-
G	gaulis issu de régénération naturelle	1	1
G'	gaulis issu de plantation	2	1
P	perchis issu de régénération naturelle	1	-
P'	perchis issu de plantation	-	1
S	semis issu de régénération naturelle	2	-
S'	semis issu de plantation	2	-
		50	50

échantillonnage représentatif et équilibré des principaux types de peuplements définis par BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999) (tableau 1).

Tableau 1 : Stratification de l'échantillonnage.

2. Relevés de terrain

Des placettes de 400 m² (20 m x 20 m) ont été matérialisées sur le terrain à l'aide de jalons, d'une boussole à visée et d'un décimètre-enrouleur. La sélection des emplacements a tenté de concilier plusieurs contraintes : surface standardisée, homogénéité de peuplement, homogénéité des strates inférieures (recherche d'une mosaïque de végétation de maille compatible avec la surface de la placette), homogénéité stationnelle.

Pour chaque placette, il a été procédé à un relevé floristique strate par strate ; le découpage vertical utilisé précédemment par BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999) a été repris :

- Strate 1 : $0,75H < h < H$
- Strate 2 : $0,5H < h < 0,75H$
- Strate 3 : $0,25H < h < 0,5H$
- Strate 4 : $3 \text{ m} < h < 0,25H$
- Strate 5 : $0,5\text{m} < h < 3\text{m}$
- Strate 6 : $h < 0,5 \text{ m}$ (strate herbacée, muscinale et lichénique)

Le recouvrement de chaque espèce dans chacune des strates a fait l'objet d'une estimation exprimée en pourcentage de recouvrement. L'abondance-dominance dans l'échelle de Braun-Blanquet et la sociabilité ont été également notées.

3. Traitement de l'information

Un tableau croisant relevés et descripteurs végétaux (100 relevés x 222 descripteurs végétaux) a été saisi sous tableur. La somme N_i des recouvrements projetés au sol a été calculée pour chaque relevé. Une seconde matrice de même taille a été générée avec dans chaque cellule la formule $-(N_i/\Sigma N_i) (\log_2(N_i/\Sigma N_i))$, soit $H' = -f_i \log_2 f_i$, avec f_i la fréquence relative du descripteur végétal au sein du relevé. Cette formule correspond à la contribution de chaque variable à l'indice de biodiversité de la placette. L'indice H' de Shannon-Weaver pour la placette est donné par la somme de ces contributions.

Soit S le nombre de descripteurs floristiques par relevé, les indices de régularité (ou équitabilité) R de Shannon ont été obtenus à partir de l'indice de Shannon-Weaver par la formule $R=H'/\log_2 S$.

II RÉSULTATS

1. Indices de diversité et typologie des peuplements

Un premier dépouillement des résultats montre une assez faible relation globale entre types de peuplement et indices ; pour la plupart des types de peuplement,

l'amplitude de variation de l'indice est assez large ; ceci laisse présager que des caractéristiques autres que le type de peuplement interviennent dans les valeurs prises par l'indice.

2. Analyse globale portant sur l'ensemble des variables floristiques

Les valeurs prises par l'indice de Shannon traduisant l'organisation floristique des placettes échantillonnées, nous avons tenté de combiner cette information avec une approche plus analytique, cherchant ainsi à saisir les paramètres floristiques responsables de ces valeurs.

Une analyse factorielle des correspondances a donc été réalisée sur l'ensemble des données floristiques (à l'aide du logiciel ADE ; CHESSEL et DOLEDEC, 1991). Les valeurs traitées correspondent au pourcentage de recouvrement des taxons par strate dans chaque relevé.

La figure 1 résume l'organisation générale des données, en dégagant les principaux pôles de la carte factorielle et les espèces à forte contribution (cadres gris) ; les espèces de moindre contribution, mais explicatives figurent sur fond blanc :

- l'analyse est principalement structurée par quelques espèces ligneuses : *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Quercus petraea*, *Acer pseudoplatanus*, *Cytisus scoparius* : les caractéristiques structurales (forme et phases des peuplements, sylvo-faciès) l'emportent sur les déterminismes stationnels.

- les pôles principaux sont définis par des structures très fermées, futaie ou gaulis, dominées de manière «hégémonique» par une espèce : hêtre ou épicéa.

- un autre pôle est constitué par des formations ouvertes (semis et fourrés) succédant aux coupes.

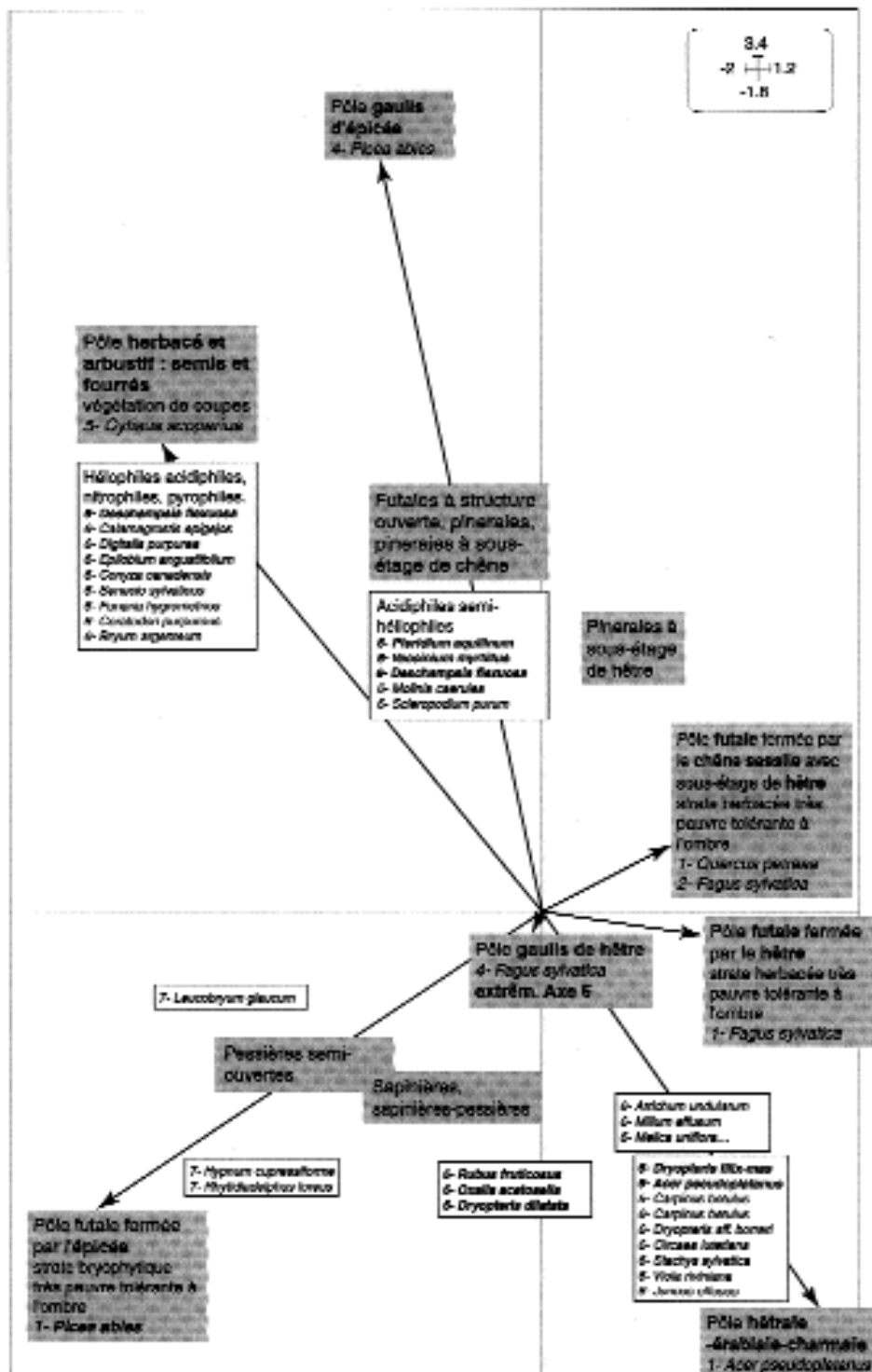
- un ensemble de placettes à structure semi-ouverte, correspondant à des peuplements de pineraies, pineraies-chênaies, pineraies-hêtraies s'intercale entre ces deux pôles.

Les valeurs de l'indice de Shannon-Weaver ont été projetées sur le premier plan factoriel ; la figure 2 permet ainsi de confronter directement les structures floristiques mises en évidence par l'analyse factorielle aux variations de l'indice :

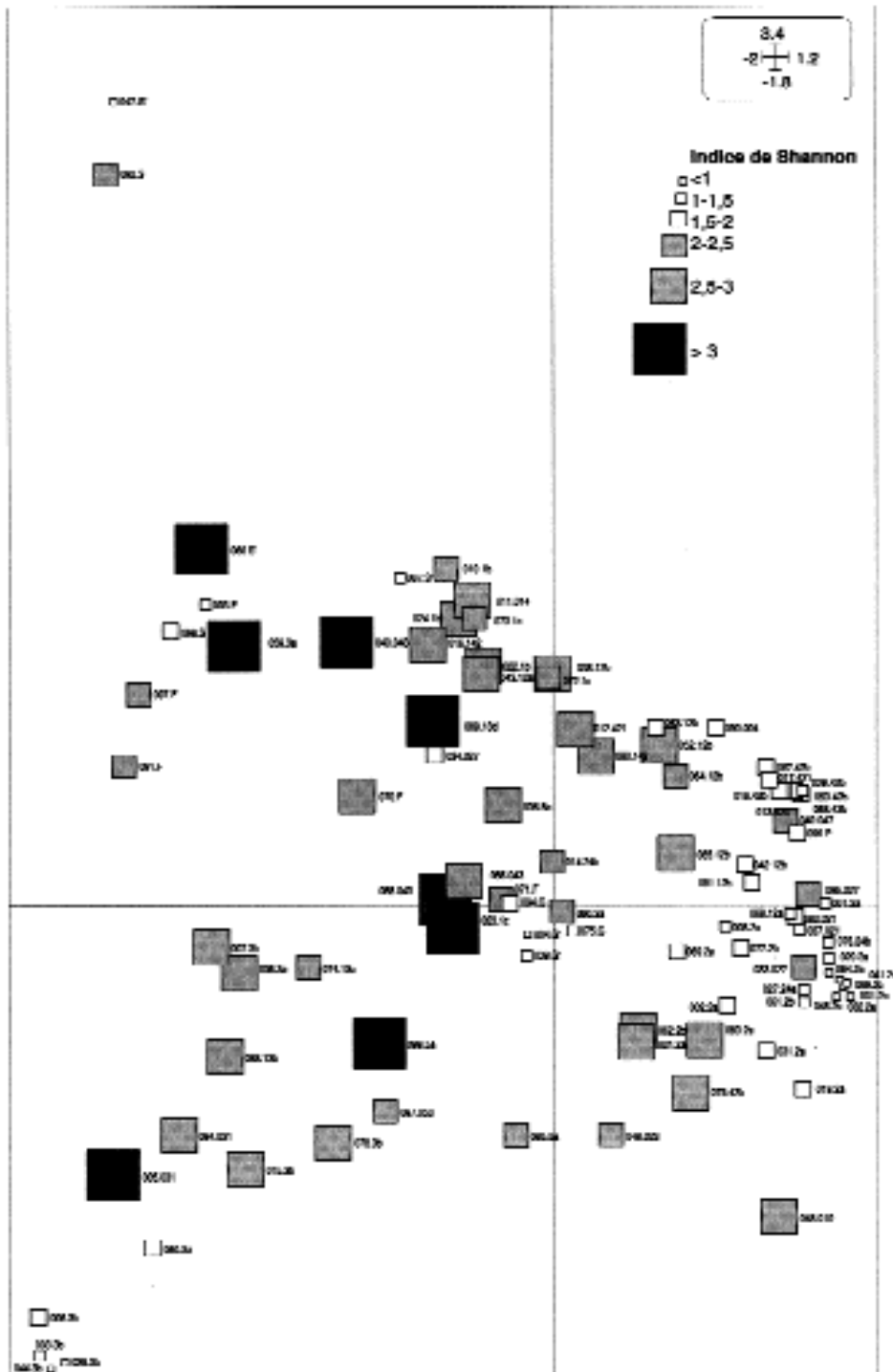
- les placettes à indice très faible (<1) se distribuent aux pôles de la carte factorielle ; elles correspondent à des gaulis d'épicéa, des gaulis de hêtre, des pessières régularisées et des hêtraies régularisées.

- à l'opposé, les placettes d'indice assez élevé à élevé (>2,5) incluent des formations très diverses : pineraies, pineraies-pessières, pineraies-chênaies, pineraies-chênaie-hêtraies, chênaies-hêtraies, certaines hêtraies et pessières régularisées, des semis et des fourrés...

Afin d'appréhender de manière synthétique les relations entre l'indice de



Shannon et la structure verticale des peuplements, nous avons réalisé une analyse



des cent placettes sur ce thème.

Figure 1 : Analyse globale des données floristiques, interprétation du plan 1-2.

Figure 2 : Projection de l'indice de diversité sur la carte factorielle, plan 1-2.

2.1. Analyse de la structure verticale :

Nous avons procédé à une analyse en composante principale (A.C.P.) des cent placettes en utilisant comme variable le taux de recouvrement des six strates.

La figure 3 montre :

- le cercle de corrélations des variables projetées sur le plan 1-2 ; l'axe 1, auquel contribuent fortement les variables s1 (recouvrement de la strate ligneuse supérieure) et s6 (recouvrement de la strate herbacée-muscinale) oppose essentiellement les futaies à structure de voûte fermée, à l'extrémité gauche du graphique, aux structures à dominante herbacée (semis, certains fourrés) à l'extrémité droite ; les strates ligneuses intermédiaires contribuent plus ou moins fortement à l'axe 2 ;

- la carte factorielle du plan 1-2 ; la représentation des histogrammes verticaux sur celle-ci permet une très bonne visualisation de la répartition des structures verticales.

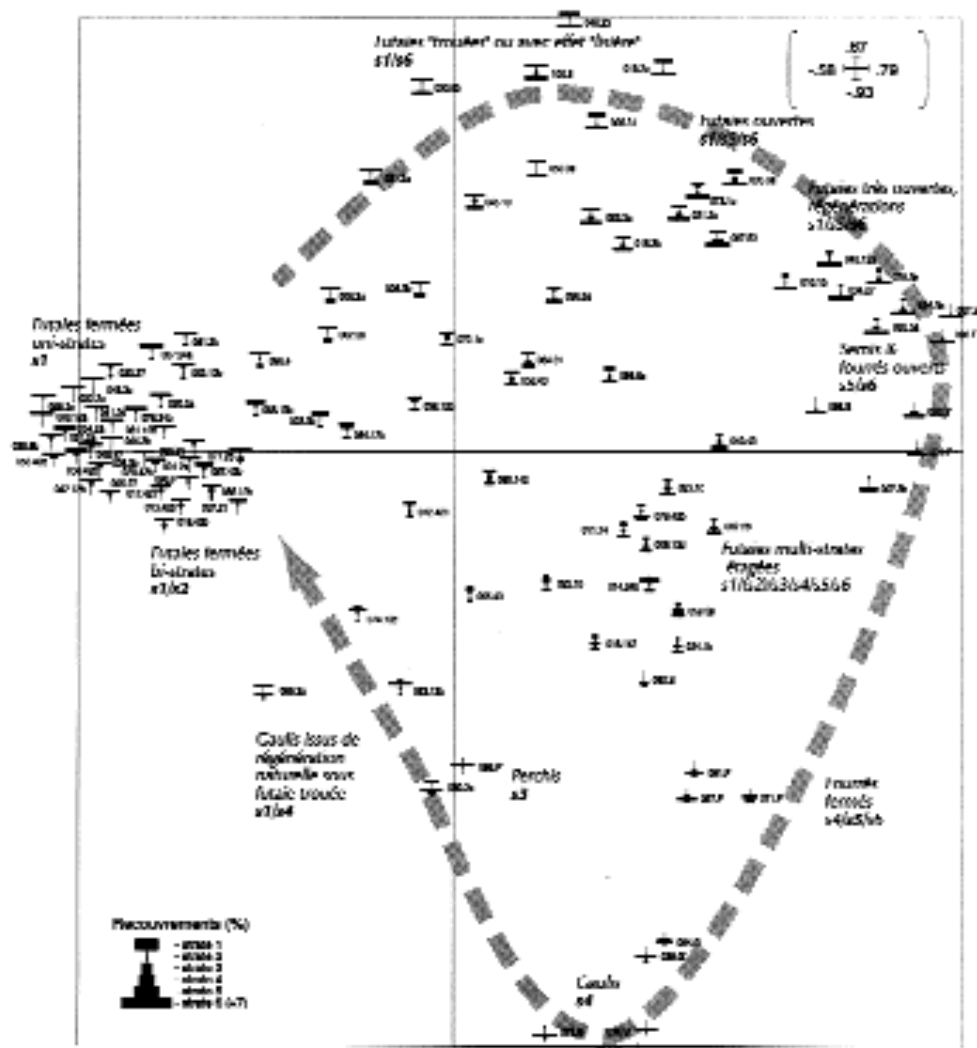
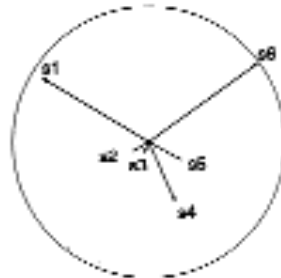
La confrontation des figures 3 et 4, sur laquelle ont été projetées les valeurs de l'indice de Shannon permet d'apprécier la nature des liaisons entre cet indice et les structures verticales :

- les indices très faibles sont concentrés sur le pôle des hêtraies uni-strates à voûte fermée et sur le pôle des gaulis ;

- les futaies à strate herbacée-muscinale développée (trouées ou effet «lisière», structures s1/s6), les futaies ouvertes (s1/s5/s6) à très ouvertes (s1/s5/s6) produisent des indices de valeur moyenne à assez élevée, parfois élevée ;

- en ce qui concerne les stades culturels juvéniles de la futaie régulière, on remarquera que les indices tendent globalement à décroître lorsqu'on parcourt la séquence semis et fourrés ouverts - fourrés fermés - gaulis, à mesure que s'accroît la dominance de la strate ligneuse ; les semis et les fourrés montrent cependant une variabilité extrême quant aux valeurs d'indices ; ces formations étant relativement riches en espèces, les différences d'indice proviennent surtout du caractère plus ou moins régulier de la distribution des espèces ; les indices les plus faibles sont fournis par les placettes où une espèce (Canche flexueuse ou Fougère aigle) devient très dominante ; la placette d'indice élevé (066.S') correspond à une structure à composantes arbustives, herbacées et muscinales équilibrées.

- les futaies à structures étagées, situées vers le centre de la carte produisent des valeurs moyennes à élevées ; les valeurs d'indice intègrent le nombre de strates, le caractère plus ou moins équilibré de leurs recouvrements respectifs et la diversité de la strate herbacée.



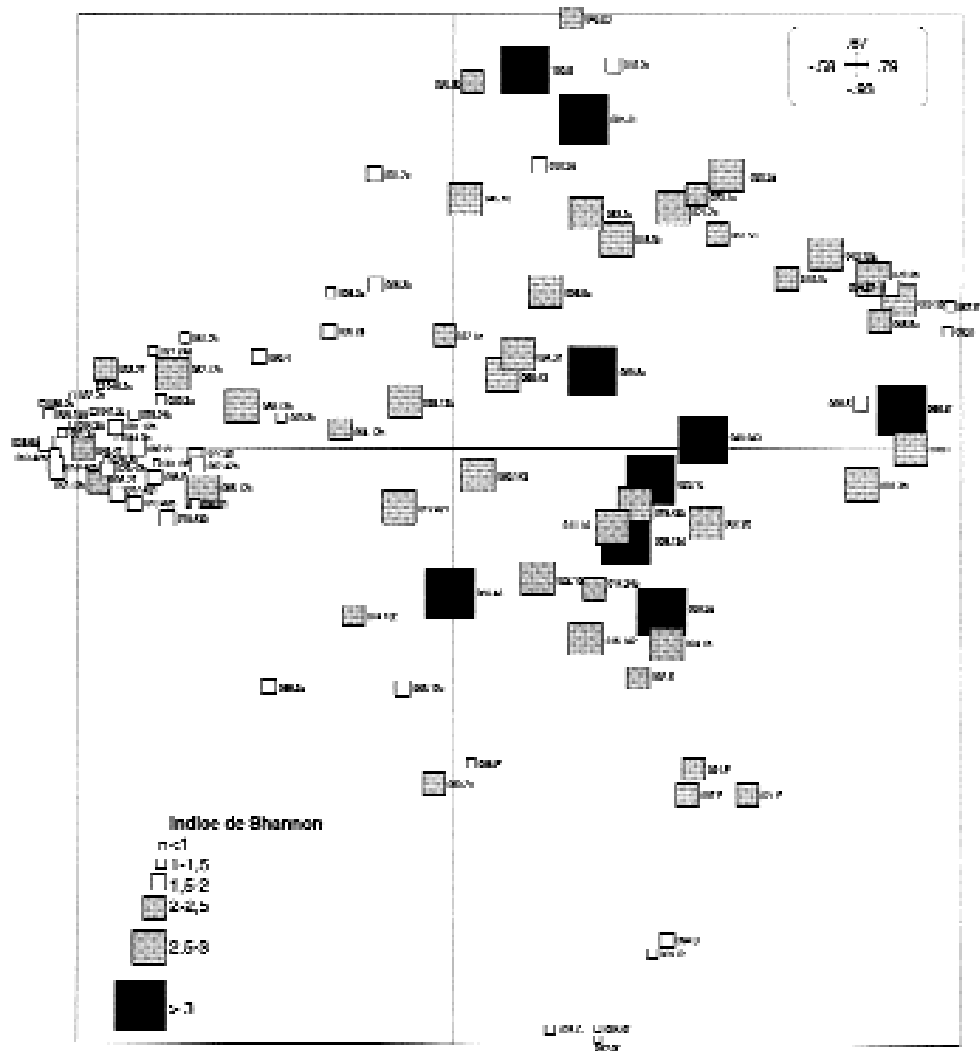


Figure 3 : Analyse des structures verticales, ACP, plan 1-2.

Figure 4 : Projection des indices de diversité sur la carte des structures verticales .

2.2. Analyse de la strate arbustive et herbacée :

Une approche complémentaire conduit à analyser le rôle de la composition floristique des strates inférieures ; les données de la première analyse ont été reprises en éliminant les composants ligneux, arbres, arbustes et semis, directement

impliqués dans l'économie forestière ; les «mort-bois» (sureaux, bourdaine, ...), les espèces herbacées, muscinales et lichéniques ont été conservées. Pour l'échantillonnage étudié, le recouvrement moyen de la strate herbacée est de l'ordre de 40% (0,43) et la contribution moyenne des strates inférieures à l'indice de Shannon de 37%, mais les variations sont importantes ; dans l'ensemble, les composantes arborescente et sous-arborescente contribuent davantage à la valeur de l'indice que les strates inférieures.

Six groupes phytoécologiques on pu être distingués :

- le groupe 1 rassemble des stades de semis ou de fourrés, caractérisés par une végétation de coupe forestière combinant des éléments d'*Epilobion angustifolii* et des espèces plus ou moins nitrophiles de substrats perturbés (*Digitalis purpurea*, *Epilobium angustifolium*, *Calamagrostis epijeios*, *Conyza canadensis*, *Senecio sylvaticus*...). Divers faciès peuvent se développer, influençant beaucoup les valeurs d'indice : faciès à *Cytisus scoparius*, à *Pteridium aquilinum*, à *Deschampsia flexuosa*.

- le groupe 2 est défini par une combinaison d'espèces acidiphiles ; il regroupe des stations acidiphiles à hyper-acidiphiles, généralement à tendance xérocline. Il se décline en plusieurs sous-groupes organisés autour d'une ou quelques espèces dominantes :

- 2.1 : placettes à végétation herbacée réduite, mais bryophytes dominants, particulièrement *Leucobryum glaucum*, qui peut former des faciès important ; il est accompagné par quelques lichens dont fréquemment *Cladonia coniocraea*. Cet ensemble caractérise des stations hyper-acidiphiles développées sur conglomérat, en ambiance thermoxérocline (versants S et SW) ; il est associé à des peuplements résineux ou mixtes denses, à structure assez fermée : pineraies, pessières, pineraies-pessières, pineraies-chênaies sessiliflores ;

- 2.2 : placettes à végétation herbacée réduite, dominée par *Hypnum cupressiforme* accompagné de *Rhytidiadelphus loreus* ; faciès associé à des peuplements denses d'épicéa ou de pin et d'épicéa L'extension des faciès d'*Hypnum* souligne l'éclaircie progressive des peuplements, l'indice de Shannon augmentant parallèlement ;

- 2.3 : placettes caractérisées par une végétation herbacée à recouvrement moyen à fort, associée à des conditions semi-éclairées à très éclairées ; stations acidiphiles ou hyper-acidiphiles dominées par *Vaccinium myrtillus*, accompagné de *Pleurozium schreberi* (faciès héliophiles à myrtille), par *Pteridium aquilinum* (faciès à fougère-aigle), ou par *Deschampsia flexuosa*. Cette végétation est associée à des peuplements dominés par le pin sylvestre (pineraies, pineraies-chênaies, pineraies-chênaies-hêtraies) ou par le chêne sessile (chênaie sessiliflore, chênaie-hêtraie-pineraie, chênaie pessière), à voûte ouverte et à structure généralement étagée ;

- 2.4 : combinaison floristique de même nature et de même signification stationnelle que précédemment, mais s'appauvrissant en espèces avec la fermeture du peuplement jusqu'à devenir très fragmentaire. Ce groupe est associé à des

formations à structure ligneuse fermée dominée par le hêtre ou à sous-étage de hêtre : hêtraies, hêtraies-pineraies, pineraies-hêtraies, chênaie-hêtraie.

- le groupe 3 est défini par une combinaison rassemblant les espèces acidiphiles semi-héliophiles du groupe 2 (*Pteridium aquilinum*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*...) et certaines espèces hydroclines ou acidoclines définissant le groupe 4 (*Dryopteris dilatata*, *D. carthusiana*, *Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina*, *Rubus fruticosus*...) ; les stations concernées peuvent être interprétées comme étant acidiphiles ou mésoacidiphiles à tendance hydrocline ; cette combinaison d'espèces est surtout associée à des pessières ou des sapinières, plus rarement à des chênaies-pessières, des pineraies ou des pineraies-hêtraies à structure semi-ouverte à ouverte, trouée ou étagée.

- le groupe 4 est défini par la combinaison du groupe hydrocline *Dryopteris dilatata*, *Oxalis acetosella*, *Dryopteris filix-mas*, *Athyrium filix-femina* associé à un ensemble acidocline à neutroacidocline formé par *Milium effusum*, *Atrichum undulatum*, *Melica uniflora*, *Galeopsis tetrahit*, *Moehringia trinervia*, ... Il semble définir des stations acidoclines hydroclines, souvent développées sur versants d'ubac ou en situations confinées ; deux sous-groupes de placettes ont été distingués :

- 4.1 : ce sous-groupe rassemble des placettes à structure fermée ; le recouvrement de la strate herbacée est faible à très faible, la combinaison spécifique reste interprétable mais s'appauvrit fortement, un appauvrissement plus poussé conduisant aux structures du groupe 6. Il s'agit surtout de formations dominées par le hêtre (futaies ou gaulis), plus rarement par l'épicéa ;

- 4.2 : la combinaison floristique qui définit le groupe 4 se développe de manière optimale dans des conditions d'éclaircissement déterminées par des structures trouées ou plus ou moins éclaircies ; dans notre échantillonnage cette combinaison est surtout hébergée par des peuplements dominés par le hêtre (hêtraies, hêtraies-mélézins, hêtraie-pessière) ; d'autres types de peuplements apparaissent plus rarement : sapinière, sapinière-pessière, chênaie-hêtraie, chênaie pédonculée, érable.

- le groupe 5 est défini par la combinaison spécifique du groupe 4 augmentée d'espèces plus exigeantes sur les plans trophique et hydrique : *Primula elatior*, *Geranium robertianum*, *Lamiastrum galeobdolon*, *Stachys sylvatica*, *Circaea lutetiana*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Poa trivialis*, *Urtica dioica*... Ce groupe rassemble trois stations qu'on pourrait qualifier de neutroacidoclines et de mésohydrophiles, attribuables, sur le plan phytosociologique, à l'*Alno-Padion*. Ces stations correspondent à des fonds de vallons ou à des bas de versants humides ; les peuplements sont représentés par deux pessières à structure ouverte et par une frênaie-érable à voûte fermée mais peu opaque.

- le groupe 6 rassemble toutes les placettes à strate herbacée-muscinale très réduite (généralement quelques pieds de *Luzula luzuloides*). Ces placettes correspondent à des structures arborescentes à voûte très fermée, uni-strate ou bi-strate. Les peuplements concernés sont essentiellement des hêtraies ou des formations mixtes fermées par un sous-étage de hêtre, des chênaies-hêtraies, des

perchis et des gaulis.

Pour estimer la biodiversité interne des strates non culturales (herbacées, mousse, morts-bois), nous avons calculé un indice de Shannon ne prenant en compte que ce compartiment de la phytocénose ; l'indice moyen par groupe, compris entre 1,3 et 1,9 bit, apparaît peu variable ; il est peu corrélé au nombre moyen d'espèces qui, lui, varie fortement de 4 à 39 ; la faible régularité des strates herbacées et muscinales en est la cause essentielle ; cette faible régularité signifie que des phénomènes de faciès (prédominance d'une espèce) sous-tendent l'organisation de ces strates, faciès que nous avons déjà mis en évidence à partir des analyses précédentes.

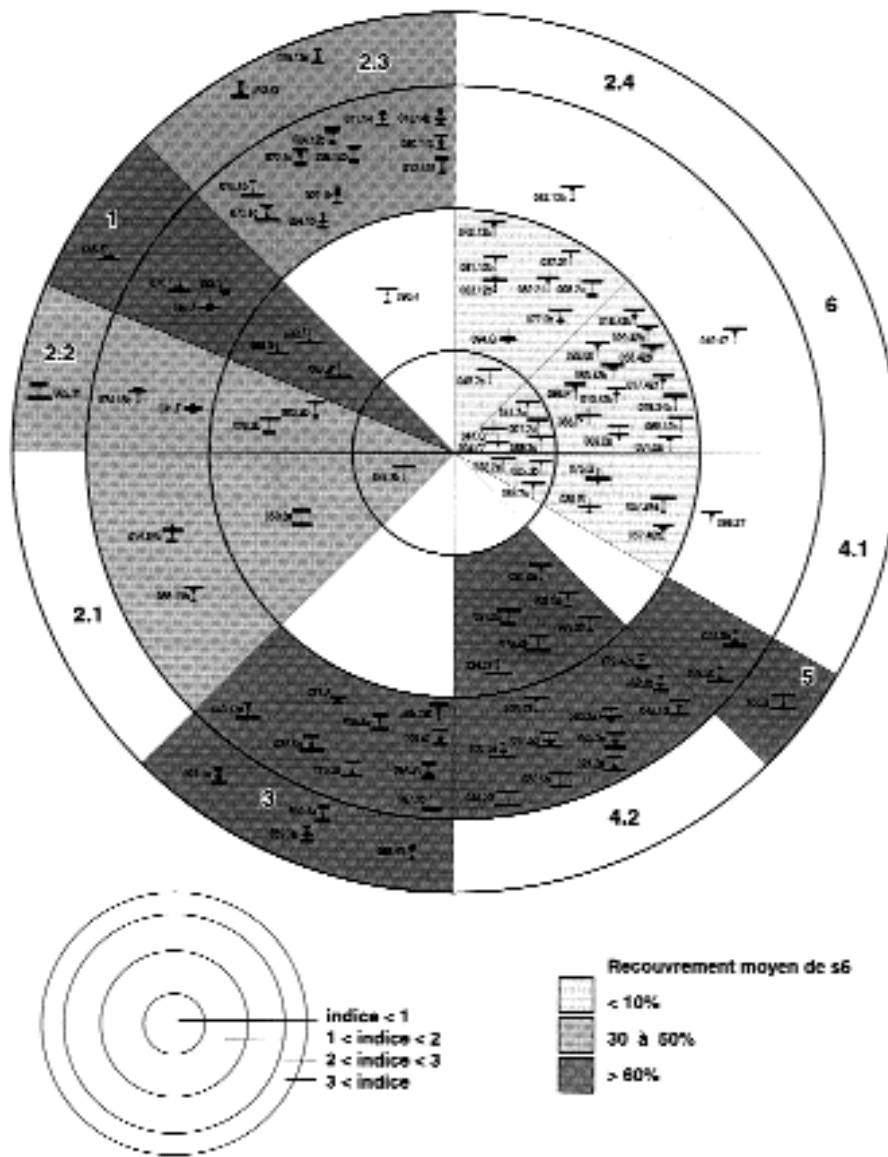
Ce effet est particulièrement bien illustré dans le groupe 1 (semis et fourrés) où malgré une richesse floristique élevée, l'indice de Shannon reste bas (1,5) à cause d'une régularité très faible (0,3) liée aux faciès à canche flexueuse ou à fougère-aigle. C'est également la cas, pour le groupe 5, particulièrement riche sur le plan taxonomique (39 espèces en moyenne dans les strates basses) mais dont la régularité reste faible (0,4).

Par contre, la contribution des strates inférieures à l'indice de diversité global est très variable d'un groupe de placettes à l'autre (67% de contribution en moyenne dans le groupe 1, 9% dans le groupe 6). Ainsi, la corrélation entre le taux de recouvrement des strates inférieures et la participation de celles-ci à la biodiversité globale semble davantage liée à un effet trivial de balance et de compétition entre strates ligneuses et strates herbacées qu'à la biodiversité intrinsèque des strates inférieures ; autrement dit, les composantes arborescentes pèseront d'autant moins dans l'indice que le peuplement sera ouvert ; inversement la fermeture de ce peuplement affaiblira le rôle des composantes herbacées et muscinales.

On remarquera que cette alternative, apparemment triviale, n'existe que parce qu'on se situe en contexte à dominante acidiphile dans lequel les principales espèces herbacées ont un développement estival et un comportement préférentiellement héliophile. Dans un contexte calcique, riche en géophytes forestiers vernaux, le problème se poserait autrement, avec la possibilité de fluctuations saisonnières significatives des indices.

3. Synthèse et conclusions

La figure 5 tente de regrouper les analyses précédentes en une synthèse visuelle : les histogrammes figurant les structures verticales des peuplements sont disposés selon quatre cercles concentriques correspondant aux classes d'indices ; les groupes définis à partir des strates inférieures constituent des secteurs ; les placettes ont



également été agglomérées selon la nature des peuplements.

La complexification verticale de la structure se perçoit nettement sur la figure 5 ; organisée selon une direction centrifuge, elle apparaît fortement corrélée avec l'augmentation de l'indice de Shannon-Weaver.

Figure 5 : Relations entre structures verticales, strates inférieures et indice de diversité .

Dans l'ensemble, les placettes donnant les indices les plus élevés correspondent

à des formations multi-étagées, l'histogramme vertical tendant à prendre une forme «pyramidale». Ce type de structure est surtout réalisé avec des peuplements dominés par le pin sylvestre, le chêne sessile ou l'association des deux ; le pin sylvestre, à voûte peu opaque, et traité en peuplements peu denses, constitue généralement le «toit» de la structure sous lequel des étages ligneux progressivement moins héliophiles prennent place de haut en bas. Dans ce groupe, le recouvrement de la strate 6 peut être moyen (30-50%) à fort (>60%), les placettes donnant les indices les plus élevés n'étant pas forcément très riches sur le plan taxonomique.

Cependant certaines structures simples produisent également des indices élevés (placette 100.8, secteur 5, placette 005.31, secteur 2.2) à moyens (secteurs 4.2 et 3) ; elles correspondent à des futaies mono-étagées, à voûte trouée ou éclaircie, suite à des accidents (chablis) ou en relation avec certains stades culturels des peuplements réguliers : coupes d'amélioration, régénérations... ; des effets de lisière (rôle lumineux de trouées latérales ou voisinage de peuplements plus ouverts) peuvent produire des schémas similaires ; la strate herbacée-muscinale montre toujours un recouvrement important (> 60%) ; la valeur de l'indice tient à une richesse taxonomique plus ou moins élevée des deux strates principales associée à une certaine équitabilité dans le recouvrement des espèces composantes.

Les placettes d'indices très faibles à faibles, figurant vers le centre du schéma, correspondent à des stades de gaulis de hêtre ou d'épicéa ou à des futaies régularisées fermées par le hêtre ou par l'épicéa ; la strate herbacée-muscinale est toujours faiblement développée et les strates arbustives généralement inexistantes.

Les stades juvéniles de peuplements réguliers (semis et fourrés) parcourent presque toute la gamme des indices (secteur 1) ; l'âge de la coupe, l'histoire antérieure de la placette, l'incidence de perturbations anthropiques (incendies, interventions sanitaires) et d'autres phénomènes aléatoires paraissent influencer fortement l'organisation de telles formations.

En résumé, l'augmentation de l'indice traduit une multiplication des composantes, ceux-ci devant se répartir l'espace plus ou moins équitablement ; cette complexification peut se réaliser selon deux modalités principales, entre lesquelles des situations intermédiaires s'intercalent :

- développement de structures peu stratifiées, généralement à deux strates, une strate ligneuse et une strate herbacée-muscinale ; la valeur de l'indice dépend alors de la diversité taxonomique «horizontale» à l'intérieur de chacune des strates ; la diversité interne de la strate herbacée-muscinale peut alors jouer un rôle important dans la valeur de l'indice ; ce schéma nécessite une ouverture minimale (plus de 25%) de la strate ligneuse ou des apports lumineux latéraux.

- développement de structures multistrates, déploiement vertical des composantes. L'occupation de toutes les strates implique une certaine répartition de l'énergie lumineuse du haut en bas de la structure ; ceci impose une stratification d'aspect plus ou moins pyramidal, avec des successions de voûtes à faible recouvrement ou suffisamment translucides.

Avant d'interpréter ces résultats, rappelons certaines limites du protocole :

- les descripteurs choisis (six strates, dont cinq ligneuses) favorisent implicitement les structures étagées : une même espèce développée dans plusieurs strates sera comptée pour autant de "taxons" ; les composantes arborescentes sont ainsi privilégiées par rapport à celles des strates herbacée et muscinale ;

- la surface d'échantillonnage utilisée s'impose pour des raisons de faisabilité ; mais cette dimension génère sans doute un biais important : des peuplements irréguliers, traités en bouquets, a fortiori en parquets, sont caractérisés par une irrégularité de grain égal ou supérieur à 400 m²; l'hétérogénéité «à grosses mailles» et ses conséquences en terme de biodiversité échappent au protocole ; on tend ainsi à confronter futaies régulières et futaies jardinées pied à pied en négligeant la gamme des pratiques intermédiaires.

- les descripteurs floristiques sont tous affectés de la même valeur : ainsi un relevé en zone tourbeuse, qui serait composé de la seule *Drosera intermedia*, donnerait un indice de diversité nul. Inversement, des indices élevés peuvent être produits par des formations dominées par des combinaisons d'essences allochtones. L'indice de diversité doit être complété par des indices de valeur patrimoniale attachés aux espèces composant la phytocénose et à la phytocénose elle-même (MULLER, 1996).

- on n'analyse ici que la forme d'un peuplement à un moment donné, c'est à dire une phase d'un cycle sylvicole extraite de son contexte cultural : des stades de régénération en futaie régulière ou jardinée peuvent se ressembler et produire des indices semblables ; dans le premier cas, il s'agit d'une phase plus ou moins courte d'un cycle susceptible de parcourir toute la gamme des indices de manière cyclique ; dans le second cas, on peut supposer une certaine stabilité de structure et donc d'indice. L'intégration de la dimension temporelle (durée de chaque stade) est nécessaire à la comparaison des deux types de sylvicultures.

En dépit des réserves précédentes, la simple analyse des structures de peuplements amène aux conclusions suivantes :

- * le type de station définit une richesse floristique potentielle qui peut être très variable d'un type à l'autre ; cette richesse floristique ne se traduit pas obligatoirement par un indice de Shannon-Weaver élevé ; la forme du peuplement contrôle fortement la valeur de cet indice ; l'organisation des strates ligneuses et la co-dominance d'un petit nombre d'espèces herbacées ou muscinales sociales jouent un rôle prédominant dans les valeurs prises par l'indice ;

- * les structures très fermées et mono-étagées dominées par le hêtre ou l'épicéa, au stade gaulis ou futaie sont très défavorables à l'expression de la biodiversité floristique potentielle de la station. Ces structures restent très développées sur l'ensemble des deux massifs. Quel que soit le mode de traitement adopté, toute opération conduisant à une complexification de ces peuplements permettra d'améliorer sensiblement la diversité végétale de l'aire étudiée.

- * la diversité floristique des structures régulières uni-strates est sensiblement améliorée par des apports lumineux provenant soit directement des

trouées de la voûte (châblis, améliorations, ...), soit indirectement du voisinage avec des structures plus ouvertes. Cet effet de «lisière» sera d'autant plus efficace que la mosaïque de stades culturels alternativement ouverts et fermés sera fine.

* d'après l'analyse des formes de peuplement, les qualités structurales des peuplements à rechercher, susceptibles d'améliorer la diversité floristique sont : un mélange des essences ligneuses en proportions équilibrées, l'existence d'une structure étagée, en corrélation avec une voûte peu dense, un éclairage direct ou diffus au sol, provenant soit d'une texture de voûte perméable, soit de la présence de petites trouées, soit d'effets de «lisière». Une pratique de futaie par bouquets possède des atouts pour répondre à l'ensemble de ces critères.

* un traitement par bouquets est incompatible avec le maintien de grandes surfaces de coupes. Or, le problème des coupes mérite une réflexion approfondie dans la mesure où il peut s'agir, entre autres, d'habitats préférentiels pour certaines espèces d'intérêt patrimonial (par exemple, certains lycopodes). Cette remarque revient à souligner la nécessité de coupler l'utilisation des indices de diversité avec d'autres méthodes d'évaluation patrimoniale, à utiliser dans le cadre d'objectifs de gestion et de protection clairement définis.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUCIAMACCHIE M., GRANDJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- CHESEL D. et DOLEDEC S. 1991. ADE Software. Multivariate Analyses and Graphical Display for Environmental Data. Version 3.1. User's Manual. Lyon : Université Claude Bernard Lyon I, laboratoire de Biologie animale et Ecologie. U.R.A. C.N.R.S. n°1451 Ecologie des Eaux Douces et des Grands Fleuves, manuel d'utilisation. 154 p.

- FRONTIER S. et PICHOD-VIALE D. 1995. Ecosystèmes ; structure - fonctionnement - évolution. Masson. Paris (Collection d'écologie, 21), 2^e édition. 447 p.
- MULLER S. 1996. Exposé introductif au colloque Biodiversité et gestion des écosystèmes prairiaux : déterminisme et évolution de la biodiversité dans les écosystèmes prairiaux. *Acta bot. Gallica* 143 (4/5) : 233-238.

PAGE BLANCHE

Biodiversité et gestion forestière L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'entomofaune

par Philippe FOUILLET
3, impasse Kerjean - 29600 Morlaix

Résumé : L'analyse comparative de la biodiversité de l'entomofaune des massifs forestiers d'Erckartswiller (futaie régulière) et de Zittersheim (futaie irrégulière) a pour base l'étude de différents couples de stations homologues (hêtraies, chênaies, pinèdes et pessière, zones de régénération de hêtres). L'étude des papillons nocturnes (par piégeages lumineux) montre la présence d'une plus grande diversité d'espèces dans les parcelles en futaie irrégulière (espèces liées aux plantes basses). Les captures (par pièges d'interception au sol) de Coléoptères Carabiques ainsi que l'inventaire des Coléoptères saproxyliques (par pièges attractifs aériens et chasses) ne montrent pas de différences constantes de diversité entre les deux massifs. Les Carabiques forestiers sténoèces* sont surtout localisés au niveau des futaies de feuillus aux sous-bois les moins exploités (pentes). Les Coléoptères saproxyliques colonisent les zones les plus riches en bois morts (qui sont aussi des zones peu exploitées). Le maintien d'une biodiversité entomologique élevée implique la conservation d'une hétérogénéité structurale des frondaisons (trouées) comme des sous-bois (chablis). L'analyse de l'intégration de ces différentes contraintes par les deux types de sylviculture impliquerait un suivi à long terme des entomocénoses des deux massifs.

* sténoèce : espèce à faible amplitude écologique

Summary : The comparative analysis of the biodiversity of the entomofauna of the forestry massifs at Erckartswiller (regular plantation) and at Zittersheim (irregular plantation) has as the basis for the study different pairs of homologous stands (beech, oak, pine and spruce forest, zones of beech regeneration). The study of nocturnal butterflies (using luminous lures) shows the presence of a greater diversity of species in the sections of irregular plantation (species dependent on low-growing plants). The interception (in traps placed at ground level) of *Carabidae* as well as the inventory of saproxylic *Carabidae* (in aerial lures and by hunting) does not show consistent differences between the two massifs. The woodland *Carabidae* of low ecological amplitude are above all localised at the level of broadleaf stands in the least exploited parts of the undergrowth (slopes). The saproxylic *Carabidae* colonise zones richest in dead wood (which are also little exploited zones). The maintenance of a rich entomological biodiversity implies the conservation of a structural homogeneity of foliage (openings) and undergrowth (windfall wood). The analysis of the integration of these different constraints by two types of forestry would imply a long-term supervision of insect communities in the two massifs.

Zusammenfassung : Die vergleichende Analyse der Biodiversität der Insekten der Wälder von Erckartswiller (regelmässiger Hochwald) und von Zittersheim (naturnaher Hochwald) basiert auf der Untersuchung verschiedener Paare von sich entsprechenden Stationen (Buchen-, Eichen-, Kiefern-, Fichtenwäldern, Aufforstungszonen mit Buchen). Die Untersuchung der Nachtschmetterlinge (durch Lichtfallen) zeigt, dass in den Parzellen naturnahen Hochwaldes (Arten, die auf niedrige Pflanzen angewiesen sind) grössere Artenvielfalt herrscht. Die Fänge (durch Bodenfallen) von Laufkäfern sowie das Inventar von Moderholzkäfern (durch Luftfallen und Jagd) zeigen keine konstanten Diversitätsunterschiede zwischen den beiden Massiven. Die jagenden Waldlaufkäfer sind vor allem im Laubhochwald im am wenigsten bewirtschafteten (Hänge) Unterholz zu finden. Die Moderholzkäfer kolonisieren die an totem Holz reichsten Zonen (die ebenfalls wenig bewirtschaftet sind). Die Erhaltung einer hohen Biodiversität der Insekten erfordert die Erhaltung einer strukturellen Heterogenität des Blattwerkes (Durchhieb) sowie des Unterholzes (umgestürzte Bäume). Die Analyse der Integration dieser verschiedenen Zwänge in den beiden Arten von Forstwirtschaft würde eine langfristige Beobachtung der Entomozöosen der beiden Waldbestände erfordern.

Mots-clés : entomofaune, Vosges du Nord, biodiversité, forêts, sylviculture, papillons, coléoptères, carabiques, saproxyliques.

INTRODUCTION

Les insectes constituent une des principales composantes de la biodiversité forestière et interviennent dans tous les compartiments fonctionnels de cet écosystème. Aussi il est probable que des gestions forestières différentes, appliquées à de grands massifs voisins, impliquent des évolutions divergentes de leurs entomofaunes respectives. C'est cette éventualité qui a été analysée et qui est présentée ici sous forme de synthèse. La présente étude de l'entomofaune se situe dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire effectué dans les Vosges du Nord, visant à comparer la biodiversité de forêts issues de deux types de gestion forestière : la sylviculture classique en futaie régulière et la sylviculture naturaliste en futaie irrégulière.

I. MÉTHODE D'ÉTUDE DES PEUPELEMENTS

1. Choix des stations

Les parcelles choisies pour cette étude comparative correspondent, dans la mesure du possible, à l'éventail des peuplements forestiers principaux présents sur les deux massifs. Les parcelles se rapportant aux mêmes peuplements (hêtraie, chênaie, pinède, pessière) ont été choisies afin d'être les plus semblables possibles. Les principaux critères de choix ont été définis à partir de l'étude de BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999) ainsi que par des visites sur le terrain. Ils comprennent les âges des arbres dominants, la diversité et les âges des autres arbres, la végétation des sous-bois, la pente et l'orientation, les caractéristiques pédologiques et la présence de bois morts.

Quatre ensembles de futaies (hêtraie, chênaie, pinède, pessière) ont été pris en compte. Dans le cas des stades jeunes, il a été comparé des parcelles homogènes de grande superficie de fourrés et de gaulis de hêtres (Erckartswiller) avec une zone de régénération (trouée de petite taille) dans une futaie de hêtres entourée d'autres peuplements (Zittersheim).

2. Méthodes d'étude des peuplements entomologiques

2.1. Étude des papillons nocturnes

Cette étude est basée sur la pose de pièges lumineux attractifs (modèle allemand qui s'accroche à une branche et récolte les papillons dans un sac de toile). L'analyse de chaque station correspond, pour les futaies, à huit nuits de piégeages (7 pour les hêtraies) réparties entre avril et octobre 1996. Les formations jeunes ont été piégées 6 fois (gaulis) et 5 fois (fourrés et trouées de régénération). Ces systèmes fonctionnent d'autant mieux que la nuit est douce, noire et sans pluie violente. Les captures maximales correspondent aux chaudes nuits estivales. Les pièges ont été placés en sous-bois mais dans des zones relativement dégagées afin

de maximaliser le rayon d'attraction du piège (le piège étant à l'ombre à la levée du soleil). Les papillons posés près du piège sont aussi récoltés. Cette méthode est donc très efficace, mais les individus s'abîment facilement et il y a souvent un pourcentage d'individus indéterminables dans les récoltes. Les récoltes dans les sites identiques des deux forêts sont effectuées simultanément (afin de correspondre à des conditions météorologiques parfaitement semblables). Les captures comprennent essentiellement des papillons de tailles moyennes à grandes (macrohétérocères) mais aussi (en été) de nombreux microlépidoptères parfois très abîmés.

2.2. Étude des Coléoptères Carabiques

Ces espèces sont souvent utilisées comme indicateurs écologiques (BUREL, 1989 ; BUREL et BAUDRY, 1994). Les Carabiques sont considérés comme de bons intégrateurs des caractéristiques abiotiques (type de sols, microclimat sous la végétation) et biotiques (prédateurs actifs de la faune du sol ou des herbes) des biocénoses terrestres (GEORGES, 1994). La comparaison de stations peut être effectuée par la capture des individus actifs dans des pièges d'interception au sol (méthode relative facilement reproductible). Les pièges d'interception au sol sont constitués de bocaux en verre (10 centimètres de diamètre, 15 de profondeur), enfoncé juste au niveau du sol et remplis (aux trois quarts) de formol dilué à 10 pour mille. Il a été placé cinq bocaux par station (en ligne et espacés de trois mètres). Ils sont placés dans des zones représentatives des stations étudiées (sous-bois non perturbés par les activités humaines). Les pièges sont ouverts en continu de début avril à fin octobre et sont relevés environ tous les 25-30 jours (en fonction des disponibilités du récolteur). Ces systèmes sont efficaces pour la capture des insectes mobiles au sol, y compris divers Coléoptères intéressants pour l'étude de la biodiversité forestière (cas de différents Coléoptères saproxyliques des sous-bois).

2.3. Étude des Coléoptères saproxylophages

Cet ensemble comprend des insectes de différentes familles aux modes de vie très variés et parfois aux densités très faibles. Il n'existe pas de méthode de prélèvement permettant d'analyser leur biodiversité de manière simple. Les insectes volant au niveau des frondaisons et attirés par diverses odeurs peuvent être capturés grâce à des pièges attractifs aériens (ALLEMAND et ABERLENC, 1991 ; LEBLANC, 1994). Ces systèmes sont des récipients suspendus dans lesquels est placé un mélange attractif et conservateur comprenant de la bière, du vin et du chlorure de sodium (10 %). Ces systèmes ont été utilisés dans les futaies de hêtres, de chênes et de pins (des deux forêts) ainsi qu'au niveau de la trouée de régénération de Zittersheim, en période estivale (juin à septembre). Les pièges ont été placés par trois en bordure de zones plus ou moins dégagées et à environ trois mètres de hauteur (accrochés à des branches). Ils ont été relevés à intervalle de six semaines environ. Les insectes attirés en masse dans ces systèmes sont surtout des Diptères, des guêpes et des papillons nocturnes (indéterminables) ; les Coléoptères ne constituant d'une assez faible part des captures.

Afin de compléter les listes d'espèces obtenues, diverses recherches visuelles d'insectes ont été réalisées dans les sous-bois des mêmes stations (ramassage de tous les insectes Coléoptères tombant des branches secouées, recherche minutieuse de Coléoptères autour des troncs morts, sous les écorces, autour des tas de branches et des souches). Elles correspondent à une heure de prospection par station pendant quelques journées chaudes de fin de printemps et d'été. Elles ont surtout permis de capturer quelques espèces abondantes mais restent insuffisantes pour obtenir une vision complète du peuplement de Coléoptères des sous-bois (espèces à faibles abondances ou à pics d'émergences très réduits). Les Coléoptères saproxyliques capturés accidentellement grâce aux pièges d'interception au sol et ceux attirés (parfois en nombre important) par les pièges lumineux ont aussi été pris en compte dans cette analyse.

II. RÉSULTATS

1. Étude comparative des peuplements de papillons nocturnes (Hétérocères)

1.1. Analyse globale des captures

Au total, les piégeages lumineux ont permis la capture de 8619 individus appartenant à 274 espèces. Parmi celles-ci, les Noctuelles dominent (112 espèces), suivies des Géomètres (73 espèces), des microlépidoptères (37 espèces dont 18 Pyrales), des Écailles (13 espèces), des Notodontes (13 espèces) et de 8 autres familles de macrohétérocères totalisant 26 espèces. Les captures dominantes concernent les microlépidoptères indéterminés (13,12 % des captures totales), puis les Noctuelles *Colocasia coryli* (7,51 %) et *Noctua pronuba* (5,57 %), la Pyrale *Endotricha flammealis* (5,04 %), les Géomètres *Epirrita sp.* (4,22 %) et *Cyclophora sp.* (3,99 %), les macrolépidoptères indéterminés (3,82 %) et la Noctuelle hivernale *Conista vaccinii* (2,97 %). La majorité des espèces correspond donc à des abondances relatives très faibles.

Les captures totales des différentes stations sont assez variables d'une zone à l'autre (de 170 à 1200 individus). Globalement, les stations du massif de Zittersheim correspondent à des captures plus importantes. C'est nettement le cas au niveau de la futaie de chênes et au niveau de la trouée de régénération. Au niveau des futaies de hêtres et d'épicéas les maxima constatés à Zittersheim sont moins importants (6 % pour les épicéas et 2 % pour les hêtraies). Seule la futaie de pins d'Erckartswiller correspond à la capture d'un nombre plus important d'individus (20 %).

Dans tous les cas, le nombre d'espèces capturées est supérieur au niveau des stations du massif de Zittersheim et avec un écart assez important (15 pour les épicéas, 23 pour les pinèdes, 25 pour les régénérations, 31 pour les hêtraies et 49 pour les chênaies). Mais globalement, le massif de Zittersheim est seulement légèrement plus riche que celui d'Erckartswiller : au total 196 espèces (pour 3650 individus) sont présentes sur au moins une station d'Erckartswiller et 205 (pour 4969 individus) le sont à Zittersheim.

1.2. Comparaison des futaies de hêtres

Les captures totales de ces deux futaies sont très proches mais avec 31 espèces en plus pour le boisement de Zittersheim. Sur cette zone, les captures dominantes correspondent aux microlépidoptères indéterminés (15,9 %), à la Noctuelle *Colocasia coryli* (10,7 %) et aux Géomètres du genre *Cyclophora sp.* (6,2 %) (espèces liées aux hêtres). A Erckartswiller, la dominance revient à deux espèces de Noctuelles : *Colocasia coryli* (21,7 %) et *Noctua pronuba* (14,4 %) (espèce polyphage sur plantes basses) puis à *Calliteara pudibunda* (9,3 %) (espèce polyphage des arbres). A Zittersheim, les abondances relatives des macrohétérocères dominants sont donc moins importantes qu'à Erckartswiller (où le peuplement est dominé par des ubiquistes). Le peuplement capturé semble donc plus équilibré dans la hêtraie de Zittersheim (plus d'espèces et moins de dominance).

1.3. Comparaison des futaies de chênes

Les différences entre les captures de ces deux chênaies sont particulièrement importantes. Dans la futaie de Zittersheim, il est capturé (pour des nuits de piégeage identiques) deux fois plus d'individus et 60 espèces en plus.

Les espèces qui dominent les captures à Zittersheim comprennent les microlépidoptères indéterminés (10,5 %), puis les Noctuelles *Orthosia cerasi* (= *stabilis*) (5,9 %) (sur feuillus divers) et *Noctua pronuba* (5,2 %) ainsi que le Géomètre *Cyclophora sp.* (4,1 %). Dans la chênaie d'Erckartswiller, les captures totales les plus importantes reviennent aux Géomètres *Epirrita sp.* (13,2 %), aux microlépidoptères (8,4 %), puis aux Noctuelles *Noctua pronuba* (6,7 %) et *Conista vaccinii* (6,1 %) (liée aux chênes et hêtres). Les Géomètres dominants à Erckartswiller (*Epirrita sp.*) sont des ubiquistes liés aux arbres de la forêt de feuillus (chênes, hêtres, frênes, ormes, prunelliers, etc..). Parmi les espèces plus abondantes à Zittersheim on retrouve des papillons liés aux plantes basses comme *Habrosyne pyritoides* (sur ronces), aux lichens des arbres *Eilema sp.* ou aux arbres feuillus divers (*Cyclophora sp.*, Noctuelles *Orthosia cerasi* et *Eupsilia transversa*).

Comme dans le cas précédent (hêtraies), il apparaît que les espèces dominantes dans les pièges au niveau de la chênaie de Zittersheim correspondent à des niveaux d'abondances relatives plus faibles qu'à Erckartswiller. Leur part dans le peuplement capturé est plus faible et donc le peuplement global capturé est plus équilibré à Zittersheim. La principale dominance revient aux microlépidoptères indéterminés qui correspondent très certainement à toute une série d'espèces.

1.4. Comparaison des futaies de pins

C'est la seule zone où les captures d'Erckartswiller sont nettement supérieures à celles de Zittersheim (738 pour 621) mais le nombre d'espèces est plus élevé à Zittersheim (108 pour 85).

Les taxons qui dominent les captures à Zittersheim comprennent les microlépidoptères indéterminés (17,4 %), les Pyrales *Endotricha flammealis* (8,1 %) et *Conobathra repandana* (5,8 %), le Géomètre *Cyclophora sp.* (4,2 %). A Erckartswiller, c'est la Pyrale *Endotricha flammealis* (18,7 %) qui est la plus

abondante suivie de la Noctuelle *Colocasia coryli* (17,3 %) , des microlépidoptères indéterminés (10,4 %) et des Géomètres *Cyclophora sp* (5,3 %). Comme dans les cas précédents les dominances sont plus réduites à Zittersheim et peuvent être synonymes de meilleur équilibre (du peuplement capturé).

Les espèces dominantes dans les deux sites ne sont pas liées aux pins (Pyrale *Endotricha flammealis* liée aux plantes basses, Noctuelle *Colocasia coryli* aux feuillus, Pyrale *Conobathra repandana* ainsi que les *Cyclophora* sur les chênes). Les espèces se nourrissant de conifères restent globalement minoritaires dans les piègeages (13 % pour les deux parcelles).

1.5. Comparaison des futaies d'épicéas

Pour ce boisement, les nombres d'espèces et d'individus des deux stations sont assez proches mais Zittersheim est la plus riche (110 espèces pour 95 à Erckartswiller). Les espèces capturées sont liées aux conifères et surtout aux feuillus (peuplement de composition voisine de celle observée dans les pinèdes).

Les taxons qui dominent les captures à Zittersheim comprennent la Pyrale *Endotricha flammealis* (14,7 %), les microlépidoptères indéterminés (13,2 %), la Noctuelle *Colocasia coryli* (8,3 %) et le Géomètre *Cyclophora sp* (6,8 %). A Erckartswiller, il s'agit des microlépidoptères indéterminés (24,0 %), des Pyrales *Scoparia sp.* (21,9 %), du Géomètre *Cyclophora sp.* (5,7 %) et de la Pyrale *Endotricha flammealis* (4,7 %). Contrairement aux stations précédentes les abondances relatives dominantes à Zittersheim ne sont pas nettement plus réduites qu'à Erckartswiller (équilibre des peuplements capturés). Toutes ces espèces dépendent d'arbres feuillus ou de plantes des sous-bois.

Comme dans les cas précédents, la comparaison des abondances relatives des classes de plantes-hôtes montre une plus grande importance des espèces liées aux plantes basses à Zittersheim (43 % contre 36 %) et le contraire pour celles liées aux feuillus dominants (33 % contre 40 % pour Erckartswiller).

1.6. Comparaison des parcelles de régénération

Les captures sur les parcelles de régénération de hêtres d'Erckartswiller sont très réduites par rapport à celles de la hêtraie de Zittersheim (425 individus et 102 espèces contre 1207 individus et 127 espèces). L'effort de piégeage est pourtant comparable et même plus important pour Erckartswiller (6 séances dans le gaulis, 5 dans les fourrés et 5 à Zittersheim).

Les espèces dominantes diffèrent sensiblement dans les trois zones et ne comprennent pas que des espèces spécifiques aux milieux forestiers (espèces polyphages sur plantes basses, arbustes ou (et) arbres). Au niveau des fourrés, dominent les microlépidoptères indéterminés (9,4 %) puis les Noctuelles *Orthosia gothica* (5,9 %), *Eupsilia transversa* (5,9 %) et *Ochropleura plecta* (5,3 %), les macrolépidoptères indéterminés (5,3 %) et la Noctuelle *Aletia impura* (4,7 %) (espèce liée aux graminées). Dans les gaulis, les dominants sont les microlépidoptères indéterminés (20,0 %), les macrolépidoptères indéterminés (8,2 %), la Noctuelle *Charanyca trigrammica* (6,3 %) et *Crambus sp.* (3,9 %).

A Zittersheim, dominant, de même, les microlépidoptères indéterminés (13,8 %), les macrolépidoptères indéterminés (8,7 %), les Noctuelles *Noctua pronuba* (6,3 %) et *Agrotis exclamatoris* (5,6 %). Les niveaux de dominance des espèces déterminées les plus abondantes sont donc comparables dans les trois cas bien que les peuplements soient très différents. Différentes espèces sont localisées à une seule de ces trois stations. Pour les fourrés, c'est le cas de l'Écaille *Rhyparia purpurata* (liée à des plantes herbacées, gaillet, armoise, plantain, des endroits secs et bien ensoleillés) qui est considérée comme très localisée partout et très menacée en Allemagne (PERRETTE, 1995).

1.7. Comparaison globale des particularités des peuplements de papillons nocturnes des deux massifs forestiers

Dans tous les cas, le nombre d'espèces de papillons capturés dans le massif de Zittersheim est supérieur à celui obtenu dans les stations équivalentes d'Erckartswiller. Les comparaisons des futaies de hêtres et de chênes montrent que les peuplements globaux capturés dans la forêt de Zittersheim semblent plus équilibrés ; les fréquences relatives des espèces dominantes sont plus réduites et il y a plus d'espèces au total, ces différences correspondent à une meilleure équitabilité. Les espèces qui dominent sont parmi les plus communes des zones forestières mais les spectres obtenus diffèrent d'une station à l'autre.

La comparaison des futaies de pins, seul cas où les captures les plus importantes sont à Erckartswiller, mais où le nombre d'espèces capturées est cependant plus important à Zittersheim, amène les mêmes commentaires : dominances plus réduites à Zittersheim (meilleure équitabilité), différences dans le spectre des espèces. Les futaies d'épicéas contiennent une série d'espèces assez identique à celle obtenue dans les pinèdes (13 % d'espèces liées aux conifères) mais les peuplements capturés dans les deux futaies semblent plus nettement dominés par les espèces les plus abondantes (Zittersheim restant la zone la plus riche).

Les peuplements capturés dans les grandes parcelles de régénération d'Erckartswiller et celui obtenu au niveau d'une trouée de régénération à Zittersheim sont très différents qualitativement et quantitativement. Ils paraissent tous assez équilibrés (espèces dominantes autour de 6 % des captures totales si l'on exclut les indéterminées).

2. Étude comparative des peuplements de Coléoptères Carabiques

2.1. Analyse globale des captures

Les piégeages ont permis la capture de 1576 individus de 33 espèces. Quelques espèces sont globalement dominantes : *Abax parallelepipedus* [= *Abax ater*] (30,8 % des captures totales), *Pterostichus oblongopunctatus* (15,1 %), *Megodontus purpurascens* (14,3 %), *Mesocarabus problematicus* (12,9 %), *Archicarabus nemoralis* (10,9 %) et *Cychrus attenuatus* (4,5 %). Ce sont toutes des

espèces liées aux milieux boisés et forestiers et très communes en Europe occidentale. Dix-huit espèces ne sont représentées que par moins de 5 individus ; ce sont des espèces forestières ou liées aux milieux plus ouverts de type friches ou prairies sableuses. Les espèces dominantes globalement le sont aussi au niveau des différentes stations. Les captures globales des différentes parcelles sont assez variables (plus de 300 individus dans les futaies d'épicéas de Zittersheim, 58 individus dans les fourrés de hêtres d'Erckartswiller). Les écarts entre les stations équivalentes des deux forêts sont assez variables et les maxima peuvent correspondre à l'une ou à l'autre.

Les nombres d'espèces des différents couples de stations sont peu différents (maximum dans les gaulis de hêtres d'Erckartswiller, minimum dans la futaie de pin de Zittersheim). Les différences au niveau des stations de futaies sont très réduites (une ou deux espèces). La richesse est légèrement plus importante au niveau des stations ouvertes d'Erckartswiller (21 espèces au total pour l'ensemble fourrés - gaulis).

2.2. Comparaison des futaies de hêtres

Les résultats obtenus au niveau des deux futaies de hêtres sont très similaires. Neuf espèces et 187 individus sont capturés à Erckartswiller alors que 10 espèces et 168 individus le sont à Zittersheim. Cependant on note de nettes différences d'espèces dominantes sur les deux sites. Au niveau de la hêtraie d'Erckartswiller, l'espèce la plus abondante est *Pterostichus oblongopunctatus* (55 %) suivi de *Abax ovalis* (15 %) et de *Mesocarabus problematicus* (10,2 %). A Zittersheim, *Abax parallelepipedus* Pil. & Mit. (= *Abax ater* Villers) domine (37,5%) suivi de *Pterostichus oblongopunctatus* (33,9 %) et de *Archicarabus nemoralis* (14,9 %) et les deux autres espèces dominantes à Erckartswiller sont très peu représentées. Ces différences sont difficiles à expliciter, car les connaissances concernant la biologie et l'écologie de ces différentes espèces restent très sommaires. Ce sont toutes des espèces forestières assez communes, *Abax ovalis* étant plus nettement inféodée au milieu forestier que *Abax parallelepipedus* (qui colonise aussi les haies des bocages denses). *Chrysocarabus auronitens*, carabe typique des vieilles futaies de hêtres de plaine et de montagne est légèrement plus abondant à Erckartswiller.

Globalement, les peuplements capturés sur les deux parcelles sont donc assez semblables (nombre d'espèces et d'individus). Les espèces dominantes des deux sites diffèrent sensiblement. Les espèces les plus typiques du milieu forestier (*Chrysocarabus auronitens*, *P. oblongopunctatus*, *Abax ovalis*) sont plus abondantes à Erckartswiller.

2.3. Comparaison des futaies de chênes

Les captures obtenues au niveau des deux futaies de chênes sont assez proches. A Erckartswiller (parcelle 5), 12 espèces et 111 individus sont capturés alors que 10 espèces et 90 individus le sont à Zittersheim (parcelle 7). Des différences importantes d'espèces dominantes apparaissent entre les deux sites. Au niveau de la chênaie d'Erckartswiller, l'espèce la plus abondante est *Megodontus purpurascens* (27 %) suivi de *Abax parallelepipedus* (20,7 %), de *Mesocarabus*

problematicus (14,4 %) et de *Cychrus attenuatus* (12,6 %). A Zittersheim, *Abax parallelepipedus* domine (45,6 %) suivi de *Pterostichus oblongopunctatus* (20 %) et de *Mesocarabus problematicus* (16,7 %). Comme dans le cas des hêtraies, les deux autres espèces dominantes à Erckartswiller sont très peu représentées à Zittersheim (c'est aussi le cas pour *Archicarabus nemoralis*). Par contre, le carabe forestier *Chrysocarabus auronitens* est légèrement plus abondant à Zittersheim (4 individus contre un seul). *Molops piceus*, espèce forestière typique est présente uniquement à Erckartswiller (seule capture de l'étude).

En résumé, la futaie de chênes d'Erckartswiller correspond à des captures de carabiques légèrement plus importantes en terme de diversité et d'abondance que celle de Zittersheim. Les espèces dominantes sont différentes sur les deux sites. La parcelle d'Erckartswiller contient quelques individus d'espèces de milieux plus ouverts (*Cicindela*, *Poecilus*), la parcelle de Zittersheim un peu plus d'individus d'espèces forestières (*Chrysocarabus auronitens*, *Abax*).

2.4. Comparaison des futaies de pins

Les peuplements de Carabiques capturés dans les deux futaies de pins (parcelle 16 et parcelle 3) se différencient par le nombre d'individus plus important à Zittersheim (149 pour 8 espèces) qu'à Erckartswiller (118 pour 10 espèces). Les espèces dominantes dans les deux stations sont identiques : *Abax parallelepipedus* (45 % à Erc. et 30 % à Zit.), *Archicarabus nemoralis* (19,5 % à Erc. et 26 % à Zit.) et *Megodontus purpurascens* (10 % à Erc. et 17,4 % à Zit.). Sur la parcelle de Zittersheim, *Mesocarabus problematicus* présente une abondance relative assez importante (15,4 % en quatrième rang) qui est bien plus faible sur l'autre zone (4,2 %). Par contre à Erckartswiller, *Abax parallelus* occupe le quatrième rang d'abondance (7,6 %) et est absent à Zittersheim.

Globalement, les peuplements capturés sur les deux parcelles sont donc assez semblables (même ordre d'abondance des trois espèces dominantes) mais les individus sont plus nombreux à Zittersheim (sauf *Abax parallelepipedus*). Les espèces aux faibles abondances sont un peu plus variées à Erckartswiller (présence de trois espèces d'*Abax*).

2.5. Comparaison des futaies d'épicéas

Le nombre d'individus capturés dans les épicéas de Zittersheim (parcelle 18) est trois fois plus important qu'à Erckartswiller (parcelle 17) : 327 pour 117 individus. Par contre, le nombre d'espèces est très proche (11 et 10 à Erckartswiller). Les dominances sont assez différentes. A Erckartswiller, les premiers rangs de dominance reviennent à *Megodontus purpurascens* (28 %), *Abax parallelepipedus* (24 %), *Mesocarabus problematicus* (17 %) et *Proustes coriaceus* (14 %). A Zittersheim, c'est *A. parallelepipedus* qui domine largement (45 % et 146 individus) suivi de *M. problematicus* (17 %), *Archicarabus nemoralis* (13 %), *Megodontus purpurascens* (10,7 %) et *Pterostichus oblongopunctatus* (8,6 %). Les captures sont, pour la plupart des espèces, nettement plus importantes à Zittersheim. La station d'Erckartswiller, se singularise par la présence assez abondante du gros carabe *Proustes coriaceus* (le plus gros du groupe) qui est une

espèce liée aux friches, aux lisières et aussi aux milieux ouverts prairiaux et cultivés. Cette station se singularise aussi par la présence de l'espèce forestière *Leistus rufomarginatus* (seule capture au pot piège de l'étude) qui est une espèce rare dans la région (une seule capture répertoriée dans CALLOT & SCHOTT [1993] à Saverne) mais qui est présente aussi dans les forêts allemandes voisines (TAUCHERT, 1996).

En résumé, la parcelle d'épicéas de Zittersheim correspond à des captures plus importantes de carabiques mais à une diversité équivalente. Le spectre des espèces est différent, Zittersheim permet la capture de nombreux individus des espèces forestières les plus caractéristiques de la région, alors que la parcelle d'Erckartswiller se singularise par la présence d'espèces absentes ou peu abondantes sur les autres parcelles étudiées.

2.6. Comparaison des parcelles de régénération

Il est comparé ici les captures dans deux parcelles de jeunes hêtres d'Erckartswiller (fourrés, gaulis) avec celles effectuées dans une trouée de régénération de Zittersheim. Les captures de la station de Zittersheim sont plus importantes en nombre d'individus et légèrement plus réduites en nombre d'espèces (159 individus pour 11 espèces). La parcelle de gaulis est la plus riche en espèces (15 pour 92 individus) et la parcelle de fourrés de hêtres est la plus pauvre en individus (58 pour 13 espèces). Les deux parcelles d'Erckar. contiennent ensemble 21 espèces pour 11 dans la régénération de Zittersheim.

Les espèces dominantes sont assez différentes. *Megodontus purpurascens* (36 % des captures totales) et *Amara lunicollis* (24 %) dominent dans le fourré. *Megodontus purpurascens* (32,6 %), *Abax parallelepipedus* (14 %), *Mesocarabus problematicus* et *Cychrus attenuatus* (12 % chacun) sont les plus abondants dans le gaulis. A Zittersheim, la dominance revient à *Abax parallelepipedus* (40 %), *Mesocarabus problematicus* (19,5 %), *Megodontus purpurascens* (12,6 %) et *Archicarabus nemoralis* (10 %).

Ces trois stations permettent la capture d'espèces non trouvées ailleurs. C'est le cas, dans les fourrés, pour des ubiquistes (*Trechus*, *Synochus nivalis*, *Harpalus tardus*). La parcelle de gaulis contient deux espèces de gros carabes : *Morphocarabus monilis* (lisières et prairies), *Chaetocarabus intricatus* (espèce forestière en général assez commune).

La trouée de régénération de Zittersheim se singularise par la présence d'espèces forestières plus typiques : *Leistus piceus* (espèce peu commune du nord de la France, rare et localisée à quelques stations du massif des Vosges), *Harpalus quadripunctatus* (inféodée aux forêts de montagnes, peu commune dans les Vosges), *Trichotichnus nitens* (espèce forestière des montagnes de l'est de la France). Cette zone est aussi la plus riche (9 individus) pour *Chrysocarabus auronitens* (espèce très liée aux vieilles futaies de hêtres).

En résumé, les deux stations de régénération d'Erckartswiller, contiennent (ensemble) un assez grand nombre d'espèces comprenant des carabiques communs des zones ouvertes et des espèces forestières trouvées sur les autres stations mais aussi quelques espèces forestières (ou de lisières) absentes ailleurs. La zone de

fourrés se singularise par la dominance d'*Amara lunicollis*, espèce de zones ouvertes tourbeuses. La trouée de régénération de Zittersheim se caractérise par la capture de beaucoup plus d'individus mais de moins d'espèces. On y trouve des carabiques très inféodés aux milieux forestiers mais non capturés dans les autres stations. C'est aussi la zone où l'on capture le plus de *Chrysocarabus auronitens* carabe lié fortement aux vieilles futaies de hêtres.

2.7. Comparaison globale des particularités des peuplements de Coléoptères Carabiques des deux massifs forestiers

Les piégeages ne montrent pas de différences constantes entre les parcelles équivalentes des deux massifs forestiers (il n'y a pas de tendance globale). En résumé, il apparaît que dans la plupart des stations, c'est le même ensemble d'espèces forestières qui domine même si les rangs d'abondances sont variables d'une parcelle à l'autre. Les différences de biodiversité sont pratiquement nulles entre les différentes futaies. Les différences d'abondances globales (totaux des individus capturés) sont de même très réduites sauf pour la futaie d'épicéas de Zittersheim (zone la plus riche en captures). Dans toutes les stations de Zittersheim, mais aussi dans la futaie de pin d'Erckartswiller, c'est *A. parallelepipedus* qui est l'espèce dominante. Dans les autres cas, l'espèce dominante est *Megodontus purpurascens* suivi d'*A. parallelepipedus*. La futaie de hêtres d'Erckartswiller se caractérise nettement par la domination de *Pterostichus oblongopunctatus*, suivi d'*A. ovalis*.

Les deux futaies les plus riches en capture de *Chrysocarabus auronitens* sont la hêtraie d'Erckartswiller et la chênaie de Zittersheim. La première correspond à l'habitat typique de cette espèce forestière sténoèce. La hêtraie de Zittersheim est physionomiquement très semblable mais paraît plus nettement perturbée par les activités humaines actuellement (zone récemment exploitée, avec très peu de bois décomposé au sol). La chênaie de Zittersheim est située dans une vallée encaissée paraissant moins exploitée que d'autres zones plus plates (et jouant peut-être le rôle de milieu refuge pour ces espèces). La trouée de régénération dans une hêtraie mélangée étudiée dans le massif de Zittersheim se singularise par la présence (en faible nombre) de plusieurs espèces forestières peu communes et par des captures globales assez importantes (c'est aussi une des zones où se capture le plus de *Chrysocarabus auronitens*). Cette station se situe (comme la chênaie du même massif) dans une vallée assez pentue où l'exploitation forestière a moins perturbé le sous-bois (plus de troncs morts laissés en place).

Les grandes parcelles de régénération du massif d'Erckartswiller accueillent toute une série d'espèces liées à des milieux plus ouverts que celles qui dominent dans les sous-bois véritables mais ce sont surtout de petites espèces communes des friches tourbeuses ou des prairies sableuses (dominance en second d'*Amara lunicollis* dans les fourrés).

3. Étude comparative des peuplements de Coléoptères saproxyliques

3.1. Analyse des captures obtenues grâce aux pièges aériens attractifs

Les pièges aériens attractifs ont permis la capture de 905 coléoptères correspondant à 49 espèces et 19 familles. Les espèces dominantes dans ces pièges sont des Nitidulidés, en particulier les *Glischrochilus sp.* (32,5% des captures totales) ainsi que *Cychramus luteus* (19,8%) mais la seconde place revient à l'Œdémeridé *Nacerdes carniolica* (25,9%). La quatrième place revient aussi aux Nitidulidés (*Epuraea sp.*, 4,9%). Les autres espèces restent très minoritaires.

Dans les hêtraies, les captures sont plus importantes à Erckartswiller (186 individus contre 128 à Zittersheim). Les espèces dominantes des deux stations sont les mêmes que pour les totaux globaux et elles occupent les mêmes trois premiers rangs.

Les captures dans les chênaies sont plus importantes à Zittersheim (208 individus contre 139). Les espèces dominantes diffèrent légèrement dans les deux zones. Les deux mêmes Nitidulidés dominent dans les deux stations (*Cychramus luteus* et *Glischrochilus sp.*), à Zittersheim *Nacerdes carniolica* est très abondante alors qu'à Erckartswiller c'est *Epuraea sp.* qui occupe le troisième rang. Les Longicornes sont nettement plus abondants à Zittersheim (9 individus de 4 espèces contre un seul).

Pour les pinèdes, les captures à Erckartswiller sont très nettement plus importantes qu'à Zittersheim (153 contre 31 individus). Comme précédemment, les espèces dominantes à Erckartswiller sont les Nitidulidés *Cychramus luteus* et *Glischrochilus sp.* et l'Œdémeridé *Nacerdes carniolica*. A Zittersheim, c'est aussi *Glischrochilus sp.*, *Epuraea sp.* et *Nacerdes carniolica*. Les Longicornes sont ici bien plus diversifiés à Erckartswiller (6 individus de 5 espèces contre deux de deux espèces à Zittersheim).

Dans la trouée de régénération, les dominances reviennent ici aussi au Nitidulidé *Glischrochilus sp.* et à l'Œdémeridé *Nacerdes carniolica*. Cinq espèces de longicornes (et 5 individus) ont été capturées.

3.2. Analyse globale des observations d'insectes saproxyliques

Les divers prélèvements (tous types de pièges et chasses) ont permis de réunir 75 taxons liés aux sous-bois. Trente-deux espèces sont des sapro-xylophages, une dizaine est liée aux champignons et une quinzaine est composée de prédateurs ou de commensaux des précédents (les autres ayant des régimes phytophages, mixtes ou inconnus).

Globalement, les stations du massif d'Erckartswiller ont permis la récolte de 51 taxons (dont 20 espèces xylophages) et dans celles de Zittersheim il a été répertorié 56 taxons (dont 25 espèces xylophages). La zone la plus riche correspond à la pinède d'Erckartswiller (36 taxons, 15 xylophages) suivi de la chênaie de Zittersheim (29 taxons, 13 xylophages) et de la trouée de régénération de Zittersheim (28 taxons, 16 xylophages). Les zones les moins riches correspondent à la hêtraie et la chênaie d'Erckartswiller (19 et 20 taxons). Il n'apparaît donc pas ici de différences très significatives entre les deux massifs.

Quelques espèces assez rares (dans la région ou en général s'il n'y a pas de références régionales) sont présentes ici. C'est le cas, dans la hêtraie d'Erckartswiller, du Cerambycidé *Rhamnusium bicolor* et dans la pinède du même massif du staphylin commensal de nids de frelons *Velleius dilatatus*. Dans le massif de Zittersheim est présent, en hêtraie, le Lucanidé *Aesalus scarabaeoides* connu de deux stations du Bas-Rhin (GANGLOFF, 1991) et le Staphylin *Velleius dilatatus*. Dans la chênaie du même massif, il a été capturé le petit Curculionidé *Trachodes hispidulus* (lié aux branches sèches des chênes et des hêtres), dans la trouée de régénération est présent l'Alleculidé *Pseudocistela ceramboides* et le Cerambycidé *Stenostola ferrea*.

Dans l'état actuel des prospections, les espèces saprophages et saprophiles sont aussi largement réparties dans les différentes stations des deux massifs. Il est cependant possible de remarquer quelques différences entre les stations homologues.

La plus importante différence concerne les pinèdes, celle étudiée dans le massif d'Erckartswiller correspond à des captures nettement plus importantes en espèces et en individus que celle de Zittersheim. La différence la plus importante concerne ensuite les chênaies : celle de Zittersheim étant la plus riche. Les hêtraies se différencient peu (celle de Zittersheim est légèrement plus riche en espèces). La trouée de régénération de hêtres correspond, de même, à la capture d'une plus grande variété d'espèces que dans les futaies de la même essence.

IV. Discussion et conclusion : influence de la gestion forestière sur la biodiversité entomologique

1. Résumé des éléments apportés par l'étude entomologique

Le tableau 1 résume les caractéristiques des peuplements entomologiques étudiés dans les deux forêts. Les différences les plus nettes concernent les Lépidoptères nocturnes puisque la biodiversité (nombre d'espèces par station) est toujours supérieure à Zittersheim et que les espèces liées à des plantes vivant au sol (sous-bois et lisières) y sont plus nombreuses. Les piègeages de Coléoptères Carabiques ne permettent pas de mettre en évidence une telle différence globale entre les deux massifs (différences en nombre d'espèces et d'individus réduites et variables). Il est cependant possible de remarquer qu'une même espèce domine au niveau de toutes les stations de Zittersheim (mais aussi sur une d'Erckartswiller). Les piègeages aériens de Coléoptères saproxyliques ne montrent pas non plus de différences globales mais opposent plutôt les chênaies aux hêtraies. Au niveau des couples de stations homologues, les principales différences peuvent se résumer de la manière suivante (tableau 1) :

* Hêtraies : les ensembles de papillons des deux massifs sont très proches mais à Erckartswiller la dominance des espèces ubiquistes est plus importante ; les carabiques dominants sur cette même zone ne le sont sur aucune autre station ; le rare Lucanidé *Aesalus scarabaeoides* est présent dans la hêtraie de Zittersheim (une seule donnée).

* Chênaies : les papillons présents à Zittersheim sont nettement plus diversifiés et plus abondants ; c'est plutôt le contraire pour les carabiques, mais des espèces forestières sténoèces sont présentes à Zittersheim ; cette zone est aussi assez riche en espèces saproxyliques et en Longicornes.

* Pinèdes : le nombre d'espèces de papillons est plus important à Zittersheim ; c'est le contraire pour les carabiques (faibles différences) et pour les espèces saproxyliques.

* Pessières : la richesse et la diversité en papillons sont plus importantes à Zittersheim ; c'est aussi le cas pour les carabiques ; les Coléoptères saproxyliques n'ont pas été étudiés.

* Zones de régénération : les peuplements de papillons sont très différents, celui de Zittersheim étant riche et diversifié (par rapport aux autres futaies aussi) ; les peuplements de carabiques sont aussi très différents, des espèces forestières sténoèces étant présentes à Zittersheim ; cette zone est aussi assez riche en espèces saproxyliques.

Quelques différenciations nettes apparaissent donc entre les stations et les massifs, elles sont globales et stationnelles pour les papillons nocturnes, elles sont variables et liées aux différents types de boisements pour les deux autres groupes.

2. Influence de la gestion forestière sur la biodiversité entomologique : apports et limites de l'étude et recommandations globales

Les papillons nocturnes, ensemble regroupant un très grand nombre d'espèces, occupant tous les biotopes présents en forêts (de la litière aux sommets des frondaisons) semblent favorisés par le traitement en futaie irrégulière (plus d'individus et d'espèces, peuplements capturés plus équilibrés). Les causes de cet effet sont sans doute multiples et complexes (liées aux particularités, souvent mal connues, de la biologie et de l'écologie des différentes espèces). L'augmentation de l'hétérogénéité du milieu doit favoriser de différentes manières les espèces qui sont adaptées depuis des millions d'années aux forêts naturelles vraisemblablement très hétérogènes, grâce aux chablis, des sous-bois aux frondaisons (DAJOZ, 1998). La diversité floristique des structures régulières est améliorée par les apports lumineux provenant des trouées ou du voisinage de lisières ; ceci de manière plus efficace si la mosaïque de milieux ouverts et fermés est fine (BAILLY, 1999). Le maintien dans les sous-bois des différentes espèces de petits arbres et d'arbustes n'ayant pas de valeurs sylvicoles est aussi importante pour les papillons forestiers (BLAB et *al.*, 1988). Il en est de même pour les petits fonds de vallées où croissent des saules colonisés par de nombreuses espèces (FRY et LONSDALE, 1991). Ces zones sont malheureusement souvent plantées densément en conifères exotiques, ici aussi bien en zone régulière qu'en zone irrégulière.

Les carabiques semblent beaucoup moins influencés par les différences de traitement des massifs (il n'y a pas de tendance générale dans ce sens). Par contre, les espèces forestières les moins communes et les plus caractéristiques

(*Chrysocarabus auronitens*, *Leistus piceus*, *Trichotichnus nitens*, *Harpalus quadripunctatus*) sont liées aux zones de vieilles futaies, en particulier celles où l'exploitation laisse un sous-bois plus riche et plus varié (sur les zones en pentes où il y a plus de bois morts, de plantes variées et moins d'exploitation intensive du sous-bois). C'est le cas des stations situées près des sources de la Moder (chênaie et trouée de régénération de Zittersheim). Là aussi, il est probable que les carabiques forestiers, adaptés de longues dates à vivre dans des zones naturelles fortement riches en bois morts, sont favorisés par les sous-bois aux aspects les plus naturels. Les carabiques forestiers sont d'ailleurs capables de se déplacer non seulement au sol mais aussi dans un biotope tridimensionnel comprenant les troncs et les grosses branches situées dans les sous-bois (jusqu'à plusieurs mètres de hauteurs).

La futaie irrégulière, si elle permet une meilleure prise en compte de la nécessité de maintenir bois morts et hétérogénéité dans les sous-bois, est certainement favorable aux Coléoptères carabiques (et autres insectes nécessitant des sous-bois composites). Mais des différences nettes ne pourront apparaître vraisemblablement qu'à long terme, car leurs populations, quand elles sont réduites par une gestion trop inadaptée, évoluent et se déplacent bien moins vite que celles des papillons (nombreuses espèces inaptées au vol).

Les futaies régulières dans lesquelles il est pris en compte les mêmes éléments (parcelles plus petites, plus hétérogènes, plus naturelles et plus riches en bois mort), pourraient aussi être aptes au maintien des carabiques sténoèces forestiers. Il serait important de privilégier l'application de ces contraintes dans et autour des zones actuellement les plus riches comme les pentes, les zones bosselées et les secteurs sous-exploités (ou des populations d'espèces sténoèces subsistent plus facilement).

Les captures de Coléoptères saproxyliques ne permettent pas de différencier les deux massifs. Diverses espèces caractéristiques sont présentes dans plusieurs futaies des deux zones. Il est vraisemblable que les données obtenues ici restent très insuffisantes pour analyser globalement les deux massifs. La présence, dans les deux boisements, de petites zones peu exploitées, est peut-être la cause de la présence, de manière aléatoire, de populations d'espèces aptes à coloniser les arbres abandonnés (il semble que le bois mort soit très rapidement exploité dans les zones facilement accessibles des deux massifs).

Comme pour les Carabiques, les zones en forte pente (sources de la Moder) plus difficiles à exploiter, sont apparemment des réservoirs de biodiversité qu'il faut conserver impérativement, car la recolonisation d'un massif forestier par une espèce saproxylique qui en a disparu est très improbable (SPEIGHT, 1989). Dans toutes zones où est présente une espèce remarquable, il est donc nécessaire de laisser en place bois morts et arbres vieillissants (c'est le cas, par exemple, de la hêtre étudiée à Zittersheim où a été capturé le Lucanidé *Aesalus scarabaeoides*).

La futaie irrégulière, aussi bien que la futaie régulière peuvent intégrer dans leurs objectifs à long terme le maintien des bois morts au sol ainsi que celui de quelques très vieux arbres sur pied.

Il semble ici que le massif de Zittersheim soit déjà plus riche en bois mort sur pied et en bois décomposé au sol (BRUCIAMACCHIE *et al.*, 1999).

Peuplements étudiés	Massif d'Erckartsweiler	Massif de Zittersheim
Papillons nocturnes (pièges lumineux)		
Résultats globaux	Le nombre d'espèces de papillons capturés dans le massif de Zill est toujours supérieur à celui obtenu dans les stations équivalentes d'Erck. Le plus grand des peuplements capturés à Zill, présente une structure plus équilibrée (dominances plus faibles = meilleur équilibre). Au niveau des Lutécies, les espèces liées aux plaines basses sont toujours plus abondantes dans le massif de Zill. Elles sont, de même, dominantes dans les zones de régénération des deux massifs.	
Hêraies	Plus forte dominance d'espèces ubiquistes et forestières.	Nombre d'individus très équilibrés ; peuplement plus équilibré et plus riche.
Chênaies		Nombre d'individus beaucoup plus important ; peuplement plus équilibré et nettement plus riche.
Pinèdes	Nombre d'individus plus important.	Nombre d'espèces plus important, peuplement plus équilibré.
Peupleraies	Peuplements capturés équivalents du point de vue des dominances.	Nombre d'individus et d'espèces plus important.
Zones de régénération	Présence de nombreuses espèces de milieux ouverts secs ou humides (certains assez rares).	Grandes différences qualitatives et quantitatives : nombre d'individus et d'espèces plus important.
Coléoptères Carabiques (pièges au sol)		
Résultats globaux	Les piègeages ne montrent pas de tendances globales, les différences en nombre d'espèces et d'individus sont réduites et variables en fonction des couples de stations. Il est capturé assez nettement plus d'individus dans quelques stations de Zill. Toutes les stations de Zill, se caractérisent par la dominance de la même espèce (ubiquiste large forêt). Dominance variable dans l'autre massif.	
Hêraies	Station très individualisée par la dominance d'espèces peu représentées ailleurs.	
Chênaies	Station un peu plus riche en espèces et individus. Présence de <i>L. aestivus</i> piceae.	Présence de <i>Chrysocaraides aurantiens</i> et <i>Melanochitrus nigrus</i> .
Pinèdes	Même espèce dominante que dans les stations de Zittersheim.	Plus d'individus mais moins d'espèces. Présence de <i>Carabus microplicatus</i> .
Peupleraies		Nettement plus d'individus capturés.
Zones de régénération	Présence d'une grande diversité d'espèces ubiquistes liées aux milieux ouverts et aux zones humides.	Présence d'espèces peu communes et inédites aux biotopes forestiers (<i>Chrysocaraides aurantiens</i>).
Coléoptères saproxyliques (pièges aériens attractifs et prospections)		
Résultats globaux	Les captures aux pièges aériens opposent globalement les chênaies aux hêraies (différences de peuplement de Netidées). Les différences pour les autres groupes restent peu représentatives (captures trop réduites).	
Hêraies	Présence de <i>Cerambyxidea Antennularia bicolor</i> .	Présence de <i>Lucanidea Rosalia scabripennis</i> .
Chênaies		Zone assez riche en espèces saproxyliques et en Longicornes.
Pinèdes	Zone assez riche en espèces saproxyliques et en Longicornes.	
Peupleraies	Zones non étudiées.	Zones non étudiées.
Zones de régénération	Zones non étudiées.	Zone assez riche en espèces saproxyliques et en Longicornes. Présence de <i>Cerambyxidea Stenodonta hirsuta</i> .

Tableau 1 : Récapitulation des données obtenues dans l'étude entomologique.

De manière très générale, le maintien de la biodiversité entomologique d'un massif forestier implique une première ségrégation entre zones naturelles (de petites superficies) à conserver en état (zones humides et biotopes xériques) et zones plus banales pouvant être soumises à l'exploitation sylvicole. Dans les secteurs réservés à l'exploitation sylvicole, le traitement en futaie irrégulière semble bien adapté au maintien de la biodiversité entomologique, car il augmente la diversité végétale globale des sous-bois et l'hétérogénéité du milieu (trouées) et crée donc des conditions optimales pour les espèces utilisant à la fois sous-bois (ou frondaisons) et zones plus ensoleillées. Le maintien sur place d'importantes quantités de bois mort (et d'arbres vieillissants) est aussi un élément nécessaire supplémentaire.

Cependant le traitement en futaie régulière pourrait aussi permettre le maintien des richesses entomologiques de ces espaces à la condition que les parcelles de base soient aménagées de manière nettement différente de celle que l'on peut observer actuellement en grande majorité. Il serait indispensable de réduire la taille des parcelles (une dizaine d'hectares), de mélanger les essences, de favoriser la régénération naturelle (coupes progressives), de maintenir des trouées et clairières, de diversifier les structures des lisières et toujours de garder de vieux arbres (NOBLECOURT, 1996). Ces recommandations sont compatibles avec les objectifs actuels de l'O.N.F. (plaquette : l'aménagement forestier dans les forêts publiques Françaises, instrument fondamental d'une gestion durable des écosystèmes forestiers).

Il est certain que ces données seraient confortées par de nouveaux prélèvements dans des milieux comparables (prise en compte des mêmes parcelles dans quelques années mais aussi d'autres parcelles de même nature dans les deux massifs), car les peuplements entomologiques peuvent fluctuer d'une année sur l'autre dans une certaine proportion. Les faibles différences constatées dans les couples de stations aux peuplements capturés proches pourraient alors être interprétées de manière plus précise. L'évolution des milieux forestiers étant lente, plusieurs échantillonnages séparés par quelques années pourraient être nécessaires pour interpréter correctement les variations constatées. Les pièges lumineux et les ensembles de pots d'interception au sol devraient permettre des comparaisons futures fiables. Les pièges aériens devraient être beaucoup plus nombreux. Il serait aussi nécessaire de standardiser les méthodes liées à la recherche des Coléoptères saproxyliques à faible abondance afin de comparer différents massifs forestiers de l'Est de la France et même d'autres régions (BRUSTEL, 1998).

L'organisation d'opérations de surveillance de systèmes écologiques et de suivi de leur biodiversité pose encore de nombreux problèmes méthodologiques qui impliquent une meilleure compréhension de la structure, du fonctionnement et de la dynamique de ces systèmes écologiques (BLANDIN & LUCE, 1994).

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Marc OWALLER pour son aide irremplaçable et consciencieuse sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEMAND R. et ABERLENC H.P. 1991. Une méthode efficace d'échantillonnage de l'entomofaune des frondaisons : le piège attractif aérien. *Bulletin de la Société entomologique Suisse* 64 : 293-305.
- BAILLY G. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : Peuplements et biodiversité végétale. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 37-53.
- BLAB J., RUCKSTUHL T., ESCHE T., HOLZBERGER R. et LUQUET G-C. 1988. Sauvons les Papillons. Duculot éditeurs. Paris-Gembloux.
- BLANDIN P. et LUCE J-M. 1994. La surveillance des systèmes écologiques et de la biodiversité, problèmes conceptuels et méthodologiques. *Bulletin de la Société entomologique de France* 99 (n° spécial) : 39-54.
- BRUCIAMACCHIE M., GRANDJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- BRUSTEL H. 1998. Les Coléoptères saproxyliques, bio-indicateurs de la qualité des milieux forestiers. Cas des forêts feuillues métropolitaines en plaine et collines. In : Les insectes, bio-indicateurs de la qualité des milieux. Colloque U.E.F. et A.I.D.E.C. *Cahier de l'AIDEC* n° 36 : 173-184.
- BUREL F. 1989. Landscape structure effects on carabid beetle's patterns in western France. *Landscape Ecology* 2, (4) : 215-226.
- BUREL F. et BAUDRY J. 1994. Reaction of ground beetles to vegetation changes following grassland dereliction. *Acta Œcologica* 15 (4) : 401-415.
- CALLOT H.J. et SCHOTT C. 1993. Catalogue et atlas des Coléoptères d'Alsace. Tome 5, *Carabidae*. Société Alsacienne d'Entomologie. Musée Zoologique de l'Université et de la ville de Strasbourg. 172 p.
- DAJOZ R. 1998. Les insectes et la forêt. Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier. Editions Tec & Doc. Paris. 594 p.
- FRY R. et LONSDALE D. 1991. Habitat conservation for insects. A neglected green issue. The amateur entomologist, Vol. 21. Peter Cribb, Editor. 262 p.
- GANGLOFF L. 1991. Catalogue et atlas des Coléoptères d'Alsace. Tome 4 *Lamellicornia, Scarabaeidae, Lucanidae*. Société Alsacienne d'Entomologie. Musée Zoologique de l'Université et de la ville de Strasbourg. 105 p.

- GEORGES A. 1994. Carabid Beetles as indicators of current and historical land form and use changes in wetlands. *Inter. Jour. of Ecology and Environmental Sciences* 20 : 129-147.
- LEBLANC P. 1994. Etude sur le peuplement entomologique du taillis-sous-futaie et de la futaie régulière (Forêt d'Orient, Aube). *Courrier Scientifique du Parc Naturel Régional de la Forêt d'Orient* 18 : 49-68.
- NOBLECOURT T. 1996. La protection des insectes et la gestion forestière. Compte-rendu du séminaire *Chrysocarabus auronitens cupreonitens* (9-10 mai 1996). Réserve Naturelle de la forêt domaniale de Cerisy (14). DIREN Basse-Normandie et ONF : 59-66.
- PERRETTE L. 1995. Quelques Lépidoptères Hétérocères remarquables de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 4 : 45-54.
- SPEIGHT M. C. D., 1989. Les Invertébrés saproxyliques et leur protection. Collection Sauvegarde de la Nature, N° 42. Conseil de l'Europe, Strasbourg, 77 p.
- TAUCHERT J. 1996. Erstaufnahme der Bodenfauna im Naturwaldreservat Rotenberghang. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz* 38 : 127-158.

Biodiversité et gestion forestière

L'exemple des Vosges du Nord :

étude des fourmis rouges

par Ines BLEICHNER (1) et Louis-Michel NAGELEISEN (2)

(1) Université Henri Poincaré - B.P. 209 - 54506 Vandœuvre-les-Nancy

(2) Département Santé des Forêts - Antenne spécialisée
54280 Champenoux

Résumé : La prospection de deux massifs forestiers dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord a révélé une faible densité de fourmis rouges et n'a pu mettre en évidence de différence significative liée à la gestion forestière. La relation forte entre présence de fourmis rouges et résineux, souvent d'origine artificielle, incite à la prudence dans l'utilisation des densités de fourmis rouges comme bioindicateur d'équilibre de l'écosystème dans des forêts, à l'origine, naturellement feuillues.

Summary : The investigation of the two forestry massifs in the Northern Vosges Regional Natural Park has revealed a low density of red ants and has been unable to account for any significant difference connected to forestry management. The marked relation between the presence of red ants and conifers, often of artificial origin, suggests prudence in the use of the densities of red ants as a bioindicator of the balance of the ecosystem in the forest which was originally broad-leaved in nature.

Zusammenfassung : Die Untersuchung der beiden Waldbestände im regionalen Naturpark der Nordvogesen hat eine geringe Dichte der Roten Waldameisen ergeben. Es konnte im Zusammenhang mit der Forstwirtschaft kein signifikanter Unterschied beobachtet werden. Der starke Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein Roter Waldameisen und Nadelholzgewächsen, oft künstlichen Ursprunges, rät zur Vorsicht bei der Verwendung der Dichte Roter Ameisen als Bioindikator für das Gleichgewicht des Ökosystems der Wälder, die ursprünglich natürlicherweise aus Laubwald bestanden.

Mots-clés : fourmis rouges, bioindicateur, Vosges du Nord, forêt.

INTRODUCTION

Les fourmis sont des prédateurs très actifs au sommet de la chaîne trophique dans le monde des invertébrés. En tant que telles, la présence/absence et l'abondance/dominance des fourmis rouges sont révélatrices de l'équilibre ou du déséquilibre de l'écosystème forestier (TOROSSIAN et HUMBERT, 1982).

Une étude sommaire (durée d'un mois), réalisée dans les forêts de Zittersheim et d'Erckartswiller (BRUCIAMACCHIE *et al.*, 1999) a permis :

- de vérifier la présence de fourmis rouges en relation avec les caractéristiques du peuplement,
- d'évaluer la densité de fourmis rouges en relation avec les données de la bibliographie et,
- d'évaluer la densité de fourmis rouges dans un peuplement de composition en essence et sur une station donnée afin de mettre en évidence une éventuelle différence liée à la structure (et donc à la gestion) du peuplement entre les deux forêts.

I. MÉTHODE

L'étude sur les fourmis rouges a été réalisée indépendamment de l'étude du reste de l'entomofaune (FOUILLET, 1999).

Cette étude s'est effectuée en quatre phases :

- phase 1 : prospection visant à détecter la présence de fourmis rouges dans les deux forêts ;
- phase 2 : recherche de deux peuplements identiques au niveau stationnel et sur le plan de la composition en essences où des fourmis sont présentes ;
- phase 3 : réalisation de transects dans chaque forêt (ces transects sont distants de 100 m chacun et orientés au nord) et description des fourmilières et des caractéristiques pertinentes du peuplement sur une surface prospectée d'un hectare à chaque rencontre de dôme (à chaque rencontre d'un dôme sur le transect, une zone d'un hectare est prospectée selon un parcours standardisé en U de 200 m de long dont les branches sont distantes de 50 m) ;
- phase 4 : étude de deux colonies (une par forêt). Une colonie est un ensemble de dômes en étroites relations, notamment par des «chemins» permettant des échanges entre dômes et composée d'une seule société (l'ensemble des fourmis de la colonie possède la même phéromone d'identification et des ouvrières prélevées dans plusieurs dômes, mises en contact ne sont pas du tout agressives entre elles, contrairement à celles appartenant à des sociétés différentes).

II. RÉSULTATS

Trois espèces de fourmis ont été identifiées au cours de cette étude. Les deux premières, *Formica polyctena* Foerst et *Formica rufa* L. sont présentes dans les deux massifs alors que *Formica lugubris* Zett n'a été localisé qu'en forêt d'Erckartswiller.

La première phase de prospection a rapidement révélé la faible densité de dômes de fourmis rousses et l'existence de grandes zones où elles sont absentes. Une prospection plus systématique (méthode des transects) a permis de recenser 17 dômes à Erckartswiller (sur une surface estimée de 15 ha) et 23 dômes à Zittersheim (sur une surface estimée de 24 ha). Dans les zones de présence, la pseudobiomasse moyenne (somme du volume de tous les nids à l'hectare) est de 0,35 m³/ha à Zittersheim contre 0,28 m³/ha à Erckartswiller. Il ressort donc que ces deux forêts ne sont pas significativement différentes en ce qui concerne les populations de fourmis rousses. Les densités sont très faibles dans les deux forêts en comparaison des densités indiquées par la bibliographie (TOROSSIAN, 1977) dans d'autres régions, en particulier dans les Alpes et les Pyrénées où des forêts proches de l'état naturel ont des densités de 4 à 10 nids à l'hectare. TOROSSIAN (1977) estime qu'une forêt en bon équilibre écologique doit avoir au moins 4 gros nids (supérieur à 0,9 m³) à l'hectare soit une pseudobiomasse supérieure à 3,6 m³.

Par ailleurs, les relations entre les fourmis rousses et les essences forestières ont été mises en évidence en appréhendant les essences dominantes dans les cinq mètres autour du dôme pour les 40 dômes observés. 90 % des dômes sont observés à proximité de résineux, en particulier d'épicéas d'origine artificielle (50 % des cas).

De plus, les prospections ont montré que les dômes des fourmilières sont, pour 73 % des cas, en exposition sud dans les deux massifs forestiers. Les fourmilières sont très liées à l'ouverture des peuplements et sont en général (85 % des cas) dans un site ensoleillé, d'où la fréquence des dômes en lisière de peuplements et sur les talus de chemin. Cette localisation des dômes est directement liée aux exigences en chaleur des fourmis.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus sur une plus vaste zone du Parc naturel régional des Vosges du Nord par une prospection le long des axes routiers (LORBER, 1982).

CONCLUSION

Les faibles densités de fourmilières rencontrées dans les deux forêts étudiées ne permettent pas d'indiquer de différences significatives qui pourraient être liées à la gestion. Par contre elles posent la question du pourquoi de cette situation et incitent à réaliser plus largement un état des lieux des populations de fourmis rousses dans

cette région. La relation forte qui existe entre ces insectes et les résineux, essentiellement d'origine artificielle ici, incite à la prudence dans l'interprétation des densités de fourmis rouges dans des forêts, qui étaient à l'origine naturellement feuillues, comme c'est le cas dans les plaines et les régions collinéennes du Nord-Est de la France (NAGELEISEN, 1999).

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur Marc OWALLER du Sycoparc pour son aide précieuse sur le terrain ainsi que Monsieur Luc PLATEAUX, professeur émérite à l'Université Henri Poincaré, pour la détermination des espèces.

BIBLIOGRAPHIE

- BRUCIAMACCHIE M., GRANDJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- FOUILLET P. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : Étude de l'entomofaune. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 55-74.
- LORBER B.E. 1982. Les Fourmis des bois du groupe *Formica rufa* L. dans les forêts du Parc naturel régional des Vosges du Nord. *Ciconia* 6(2) : 117-132.
- NAGELEISEN L.-M. 1999. Etude de la densité et du rôle bioindicateur des fourmis rouges dans les forêts du Nord-Est. *Revue Forestière Française* 51, n° 4 : 487-495.
- TOROSSIEN C. et HUMBERT P. 1982. Les fourmis rouges des bois et leur rôle dans l'écosystème forestier. *Revue Forestière Française* 34, n° 1 : 32-41.
- TOROSSIEN C. 1977. Les fourmis rouges des bois (*Formica rufa*) indicateurs biologiques de dégradation des forêts de montagne des Pyrénées orientales. *Bulletin d'Ecologie* 8(3) : 333-348.

Biodiversité et gestion forestière

L'exemple des Vosges du Nord :

étude de l'avifaune

par Yves MULLER
La Petite Suisse - 57230 Eguelshardt

Résumé : L'avifaune nicheuse de trois secteurs forestiers totalisant 1128 ha a été étudiée par cartographie des territoires et Indices Ponctuels d'Abondance. 450 ha sont gérés en futaie irrégulière et 678 ha en futaie régulière. 46 espèces d'oiseaux ont été dénombrées dans les trois forêts. Globalement, l'avifaune est plus riche en espèces dans les milieux gérés en futaie régulière en raison de la présence d'oiseaux de milieux buissonnants et semi-ouverts dans les jeunes peuplements mais, ponctuellement, l'avifaune est plus riche en moyenne dans la forêt gérée en futaie irrégulière, en raison sans doute d'une plus grande diversité végétale (structure et composition).

Les espèces de milieux ouverts et buissonnants sont plus abondantes dans la forêt gérée en futaie régulière alors que les espèces de vieilles forêts, notamment les oiseaux cavernicoles, dominent dans la futaie irrégulière. Globalement la densité totale de l'avifaune est plus forte dans la futaie irrégulière (64,9 couples aux 10 ha) que dans les deux forêts gérées en futaies régulières (54,8 et 60,6 couples aux 10 ha).

Summary : The avifauna of three sectors totalling 1128 hectares was studied using territorial cartography and Localised Abundance Indices. 450 hectares are managed as irregular plantation and 678 hectares as regular plantation. 46 species of bird were counted in the three forests. Globally the avifauna is richer in species in the areas managed as regular plantation because of the presence of birds preferring the bushy areas and half-cover in the young forests but, locally, the avifauna is richer on average in forest managed as irregular plantation, doubtless because of a greater plant diversity (structure and composition).

The species preferring open and bushy areas are more abundant in the forest managed as regular plantation, whilst the old forest species, notably the birds nesting in holes of trees, dominate in the irregular plantation. Globally the total density of avifauna is stronger in the irregular plantation (64.9 pairs to 10 hectares) than in the two forests managed as regular plantation (54.8 and 60.6 pairs respectively to 10 hectares).

Zusammenfassung : Die nistenden Vögel von drei Forstbezirken mit insgesamt 1.128 ha wurden mit Hilfe von Kartenaufzeichnungen der Gebiete und gezielten Häufigkeitsindikatoren untersucht. 450 ha werden als naturnaher Hochwald bewirtschaftet und 678 ha als regelmässiger. 46 Vogelarten wurden in den drei Wäldern gezählt. Global gesehen sind die Vögel in den als naturnaher Hochwald bewirtschafteten Gebieten infolge des Vorhandenseins der in Büschen und halboffenen Milieus der Jungbäume lebenden Vögel artenreicher. Punktuell gesehen aber sind die Vögel im Durchschnitt in den als naturnaher Hochwald bewirtschafteten Gebieten artenreicher, zweifelsohne wegen der grösseren Pflanzenvielfalt (Struktur und Zusammensetzung).

Die Vogelarten der offenen Gelände und Gebüsche sind im als regelmässiger Hochwald bewirtschafteten Gebieten zahlreicher, während die Arten der alten Wälder, vor allem die höhlenbewohnenden Vogelarten, im naturnahen Hochwald dominieren. Global gesehen ist die Gesamtdichte der Vögel im naturnahen Hochwald grösser (64,9 Paare auf 10 ha) als in den als regelmässiger Hochwald bewirtschafteten Gebieten (54,8 und 60,6 Paare auf 10 ha).

Mots-clés : avifaune, densité, richesse, biodiversité, gestion forestière, Vosges du Nord.

INTRODUCTION

Une étude pluridisciplinaire effectuée dans les Vosges du Nord compare les forêts issues de deux types de gestion forestière : la sylviculture classique en futaie régulière et la sylviculture naturaliste en futaie irrégulière.

Cet article se rapporte à l'avifaune nicheuse de trois secteurs forestiers, gérés l'un en futaie irrégulière, les deux autres en futaie régulière. Les forêts de Zittersheim et d'Erckartswiller ont été décrites par BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999). La forêt de Wingen-sur-Moder est incluse dans la forêt domaniale de La Petite-Pierre Nord, au nord de Zittersheim. Elle comprend 19 parcelles totalisant 272 ha et est caractérisée par des unités de gestion assez grandes et homogènes. La répartition en essences est la suivante :

Hêtre : 41,9 %
Pin sylvestre : 32,1 %
Epicéa : 18,2 %
Chêne : 2,8 %
Divers conifères : 3 %

L'histogramme des classes d'âges des peuplements forestiers est déséquilibré : on note un excédent de parcelles jeunes (moins de 20 ans) et de futaies âgées (120 à 140 ans).

Le mode de gestion est la futaie régulière, selon la méthode du groupe élargi.

I. MÉTHODE

L'inventaire du peuplement avien nicheur des trois massifs permet des comparaisons qualitatives, mais c'est avant tout au niveau quantitatif que les différences d'avifaune sont les plus intéressantes à mettre en évidence. Une méthode relative, prenant en compte le grand nombre possible de couples cantonnés, a été utilisée pour le dénombrement de l'ensemble des espèces nicheuses. En raison du relief et du morcellement des peuplements, la méthode des Indices Ponctuels d'Abondance ou I.P.A. (BLONDEL *et al.*, 1970 ; MULLER, 1987 et 1997) a été retenue plutôt qu'une méthode linéaire (I.K.A., line-transect).

1. La méthode des I.P.A.

La méthode des I.P.A. consiste à procéder à deux comptages partiels, l'un en début de saison de reproduction (généralement en avril) et l'autre une fois que toutes les espèces migratrices sont de retour (entre mi-mai et mi-juin). L'observateur stationne en un point donné pendant une durée déterminée (15 mn). Lors de chaque I.P.A. partiel, il cherche à identifier et dénombrer un maximum de couples cantonnés de chaque espèce et attribue la valeur 1 pour un mâle chanteur, un couple, un nid occupé ou un groupe familial et 0,5 pour un oiseau observé ou entendu par un cri. L'I.P.A. d'une espèce pour le point étudié est alors la plus grande des deux valeurs trouvées lors des deux dénombrements. Ces comptages concernent les Passereaux, les Picidés, les Columbides et les Cuculidés. Les rapaces diurnes et nocturnes, de même que la Bécasse ne sont pas pris en compte par ces dénombrements. Les forêts étudiées sont trop petites pour des comparaisons d'abondance de ces espèces à vastes territoires (rapaces diurnes surtout).

La méthode des I.P.A. est particulièrement adaptée aux comparaisons d'abondance des espèces dans différents milieux proches, mais ne permet pas d'accéder directement aux densités des oiseaux sans utilisation de coefficients de conversion. Ces paramètres propres à chaque espèce dépendent essentiellement de la puissance et de la fréquence de leurs émissions sonores (la quasi-totalité des contacts sont auditifs, surtout en milieu forestier).

Ces coefficients peuvent être déterminés en procédant pour une même parcelle à un double recensement, par I.P.A. et par cartographie des territoires : les comptages par I.P.A. fournissent les valeurs relatives et les dénombrements par quadrat donnent les densités absolues. Les rapports obtenus entre densités et I.P.A. moyens de chaque espèce sont alors les coefficients de conversion utilisés pour passer des valeurs relatives aux données absolues (MULLER, 1987). C'est pourquoi, 74 I.P.A. ont été réalisés de 1979 à 1984 sur 12 quadrats dans cinq milieux forestiers des Vosges du Nord. Ces coefficients sont propres à chaque observateur car ils sont dépendants de ses connaissances, de son acuité auditive et surtout de sa rigueur lors des comptages par I.P.A.

Les sites dénombrés sont sélectionnés par échantillonnage systématique : à partir du quadrillage Lambert II de 2,5 x 2,5 km, indiqué sur les cartes I.G.N. TOP 25, un quadrillage plus fin de 312,5 x 312,5 m est obtenu en partageant chaque

carré Lambert en 64 carrés égaux. Chaque nœud du quadrillage est retenu pour un I.P.A. à l'exception des points situés à moins de 100 m de la lisière des forêts. Deux I.P.A. voisins sont donc distants de 312,5 m.

Finalement, le recensement a porté sur 26 I.P.A. dans la forêt de Wingensur-Moder, 33 I.P.A. dans la forêt d'Erckartswiller et 38 I.P.A. dans la forêt de Zittersheim. Globalement 97 I.P.A. ont été réalisés en 1995 et 1996 et ils concernent 38 I.P.A. en futaie irrégulière et 59 I.P.A. en futaie régulière.

2. Recensement par cartographie des territoires

Les espèces à grands territoires (Pigeons, Coucou, Pics noir, vert et cendré, Grive draine) et quelques oiseaux très localisés (Pics mar et épeichette, Torcol fourmilier, Pie-grièche écorcheur) ont été dénombrés par cartographie. Tous les contacts avec ces espèces (observations, chants, tambourinage...) ont été notés précisément sur une carte à l'échelle du 1/10 000. Toutes les parcelles ont été visitées à plusieurs reprises, mais certains secteurs n'ont été couverts que l'une des deux années d'étude.

3. Analyse et traitement des I.P.A.

3.1. Au niveau des espèces

Les comptages par I.P.A. permettent deux approches. Si l'on ne tient compte que de la présence ou de l'absence des espèces lors des comptages, il est possible de calculer la fréquence moyenne de présence dans chacune des forêts. Si la fréquence d'une espèce (=Fi) est inférieure à 25 %, l'espèce est dite accidentelle ; si Fi est comprise entre 25 et 50 %, elle est dite accessoire ; si Fi est comprise entre 50 et 75 %, elle est dite régulière ; si Fi est comprise entre 75 et 100 %, elle est dite constante et si Fi est égale à 100 %, elle est dite omniprésente.

Par ailleurs, si l'on tient compte du nombre d'individus (donc de chanteurs) notés lors des I.P.A., on calcule pour chaque espèce l'I.P.A. moyen dans la forêt étudiée (avec son écart-type). Les coefficients de conversion permettent ensuite d'accéder aux densités absolues (exprimées en nombre de couples aux 10 ha).

On dira qu'une espèce est dominante lorsque sa densité dépasse les 5 % de la densité totale du peuplement.

3.2. Au niveau des peuplements aviens

Différents paramètres peuvent être calculés à partir des comptages par I.P.A.

* la richesse :

- la richesse ponctuelle est le nombre d'espèces contactées en un point (en cumulant les deux comptages) ;

- la richesse moyenne d'un secteur est la moyenne des N richesses ponctuelles ;

- la richesse totale de l'avifaune de la zone d'étude dénombrée est le nombre total d'espèces notées lors des N comptages.

* la densité :

- la densité relative ponctuelle est la somme des valeurs des I.P.A. de chaque espèce (en prenant la valeur la plus élevée dans le cas où elle est notée lors des deux comptages) ;

- la densité relative moyenne d'un secteur est la moyenne des N densités relatives ponctuelles ;

- la densité absolue en espèces s'obtient en multipliant l'I.P.A. moyen par le coefficient de conversion approprié (MULLER, 1987). Elle est exprimée en nombre de couples aux 10 ha ;

- la densité absolue du peuplement est la somme des densités absolues de toutes les espèces notées lors des comptages. Elle est également exprimée en couples aux 10 ha.

* la diversité :

La diversité d'un peuplement est un paramètre qui combine richesse et densité. Elle mesure le degré de complexité du peuplement : plus il y a d'espèces et plus leurs abondances respectives sont voisines, plus la diversité est élevée (BLONDEL, 1979).

Elle se calcule avec la formule suivante :

$$H = -\sum p_i \times \log_2 p_i$$

où p_i est la densité i exprimée en pourcentage de la densité totale du peuplement ($p_i = d_i/D$) et \log_2 , le logarithme en base 2.

La diversité du peuplement est calculée à l'aide de l'indice de Shannon et Weaver.

* l'équirépartition ou équitabilité

La diversité maximale possible du peuplement s'obtient en supposant une égale densité de toutes les espèces présentes. On montre qu'elle est égale à $\log_2 S$ où S est la richesse totale du peuplement et \log_2 le logarithme en base 2.

L'équitabilité (ou équirépartition) est alors le rapport entre la diversité observée et la diversité maximale possible du peuplement.

Plus l'équitabilité est proche de 1, plus les espèces ont des densités proches de la densité moyenne. En revanche, une équitabilité faible, nettement inférieure à 1, traduit alors de fortes disparités entre les abondances des espèces.

II. RÉSULTATS

1. Dénombrements par I.P.A.

* Forêt de Wingen-sur-Moder :

40 espèces (tableau 1) ont été dénombrées lors des 26 I.P.A.

Une espèce est omniprésente (le Rougegorge), 6 sont constantes (le Pinson des arbres, le Merle noir, le Pigeon ramier, le Troglodyte, la Mésange noire et le Pic épeiche), 5 sont régulières, 12 sont accessoires et 16 sont accidentelles. Six espèces sont dominantes. Ce sont, par ordre décroissant d'abondance : le Rougegorge, le Pinson des arbres, la Mésange noire, la Mésange charbonnière, le Pouillot véloce et la Fauvette à tête noire. 19 espèces ont une densité égale ou supérieure à 1 couple aux 10 ha.

La densité totale du peuplement avien est 60,6 couples aux 10 ha.

* Forêt d'Erckartswiller :

42 espèces (tableau 1) ont été dénombrées lors des 33 I.P.A.

Deux espèces sont omniprésentes (le Rougegorge et le Pinson des arbres), 5 sont constantes (le Merle noir, le Pigeon ramier, le Troglodyte mignon, le Coucou gris, la Mésange noire), 7 sont régulières, 6 sont accessoires et 22 accidentelles. Sept espèces sont dominantes. Ce sont, par ordre décroissant d'abondance : le Rougegorge, le Pinson des arbres, les Mésanges noire, charbonnière et bleue, le Pouillot véloce et la Fauvette à tête noire. 17 espèces ont une densité égale ou supérieure à 1 couple aux 10 ha.

La densité totale du peuplement avien est de 54,8 couples aux 10 ha.

* Forêt de Zittersheim :

38 espèces (tableau 1) ont été dénombrées lors des 38 I.P.A.

Deux espèces sont omniprésentes (le Rougegorge et le Pinson des arbres), 9 sont constantes (le Pigeon ramier, le Troglodyte mignon, le Merle noir, la Fauvette à tête noire, la Mésange noire, le Pic épeiche, le Pouillot véloce, la Mésange charbonnière et le Geai des chênes), 4 sont régulières, 7 sont accessoires et 16 sont accidentelles. Sept espèces sont dominantes. Ce sont, par ordre décroissant d'abondance : le Rougegorge, le Pinson des arbres, la Mésange noire, la Fauvette à tête noire, les Mésanges charbonnière et bleue et le Pouillot véloce. 16 espèces ont une densité égale ou supérieure à 1 couple aux 10 ha.

La densité totale du peuplement avien est de 64,9 couples aux 10 ha.

ESPECE /POINTS	ERCKARTSWILLER		WINGEN		ZITTERSHEIM	
	F. en %	Moy IPA	F. en %	Moy IPA	F. en %	Moy IPA
Pigeon colombin	8	0,09	31	0,36	21	0,21
Pigeon ramier	97	2,11	88	1,62	97	2,08
Tourterelle des bois	3	0,03	36	0,38	3	0,03
Coucou gris	85	0,88	35	0,36	24	0,24
Troglodyte	15	0,15	-	-	-	-
Pic cendré	6	0,06	8	0,08	-	-
Pic vert	8	0,08	-	-	13	0,13
Pic noir	15	0,08	31	0,19	39	0,26
Pic épeiche	87	0,92	81	1,12	97	1,08
Pic mar	-	-	8	0,08	8	0,08
Pic épicéa	3	0,03	4	0,04	-	-
Pipit des arbres	12	0,18	4	0,04	-	-
Troglodyte	88	1,24	88	1,42	97	1,79
Accenteur mouchet	24	0,24	31	0,36	24	0,24
Rougegorge	100	2,02	100	2,42	100	2,05
Merle noir	87	1,48	92	1,37	87	1,41
Grive muscienne	39	0,42	23	0,23	55	0,83
Grive draine	24	0,23	19	0,16	28	0,39
Fauvette des jardins	24	0,42	23	0,31	8	0,08
Fauvette à tête noire	61	0,79	69	0,86	86	1,34
Pouillot siffleur	38	0,42	42	0,46	32	0,39
Pouillot véloce	52	0,91	66	1,08	82	1,11
Pouillot fifté	33	0,46	23	0,31	8	0,08
Roiulet huppé	24	0,24	35	0,36	26	0,26
Rozzolat à triple bandeau	38	0,38	54	0,54	81	0,81
Gobemouche gris	-	-	12	0,12	8	0,08
Gobemouche noir	3	0,03	-	-	-	-
Mésange à longue queue	3	0,02	4	0,04	3	0,01
Mésange nonnette	21	0,18	23	0,23	32	0,28
Mésange boréale	3	0,03	-	-	-	-
Mésange huppée	15	0,15	38	0,38	37	0,37
Mésange noire	78	1,08	88	1,4	95	1,46
Mésange bleue	68	0,53	38	0,38	63	0,61
Mésange charbonnière	73	0,88	66	0,79	79	0,93
Sittelle torchepot	62	0,65	48	0,73	74	1,11
Brinquebelle des bois	33	0,32	38	0,42	45	0,47
Brinquebelle des jardins	16	0,14	8	0,08	13	0,13
Fic-grièche écarlate	9	0,09	-	-	-	-
Loriot d'Europe	-	-	-	-	5	0,06
Écol des chênes	70	0,41	73	0,44	79	0,51
Cornette noire	27	0,14	46	0,25	24	0,14
Étourneau sansonnet	6	0,08	8	0,08	11	0,16
Picéon des arbres	100	2,94	82	2,62	100	2,86
Bourreuil pivine	-	-	8	0,08	6	0,04
Gros-bec	6	0,03	15	0,08	8	0,04
Bruant jaune	18	0,24	8	0,06	-	-
Somme des I.P.A.		21,78		22,75		23,63
Nombre total d'espèces		42		40		38

Tableau 1 : Fréquence et IPA moyens des 46 espèces recensées dans les trois forêts.

2. Résultats des dénombrements par cartographies des territoires dans les trois massifs (tableau 2)

	WINGEN (272 ha)	ERKARTSWILLER (406 ha)	ZITTERSHEIM (450 ha)
Pigeon ramier	14	16	27
Pigeon colombin	2	-	7
Tourterelle des bois	8	1	-
Coucou gris	0,5	1,5	1
Pic noir	1	0,5	1,5
Pic cendré	1	0,5	-
Pic vert	-	0,5	1
Pic mar	2	-	4
Pic épeichette	1	2	-
Torcol	1	3	-
Grive draine	2	5	7
Pie-grièche écorcheur	-	5	-

Tableau 2 : Nombre de couples d'oiseaux nicheurs dénombrés par cartographie des territoires dans les trois forêts.

Ce dénombrement concerne 12 espèces aviennes. Le Pigeon ramier est abondant dans les trois forêts. Le Pigeon colombin niche dans les cavités des vieux arbres, particulièrement dans les anciens trous de Pic noir. Il est absent de la forêt d'Eckartswiller (peu de vieux peuplements) et bien représenté à Zittersheim. A l'inverse, la Tourterelle des bois niche surtout dans les stades buissonnants. Elle est bien répandue dans la forêt de Wingen-sur-Moder, mais elle est absente à Zittersheim. Le Coucou gris, les Pics noir, vert et cendré ont des vastes territoires et semblent répartis de façon plus ou moins égale dans les trois forêts. Le Pic mar niche dans les vieilles chênaies. On le trouve à Zittersheim et à Wingen-sur-Moder, mais il est absent à Erckartswiller (peu de peuplements favorables). Le Pic épeichette et le Torcol fourmilier sont plutôt des oiseaux de lisière, de milieux semi-ouverts (ils manquent dans la forêt plus « fermée » de Zittersheim). La Grive draine niche dans les trois massifs, mais plus communément à Zittersheim. Enfin, la Pie-grièche écorcheur, se reproduisant dans les jeunes plantations, n'a été rencontrée qu'à Erckartswiller.

III. DISCUSSION

1. Comparaison des richesses des peuplements aviens (tableau 3)

46 espèces ont été rencontrées dans l'ensemble des trois forêts. Huit espèces manquent dans la forêt de Zittersheim (le Torcol fourmilier, les Pics cendré et

épeichette, le Pipit des arbres, le Gobemouche noir, la Mésange boréale, la Pie-grièche écorcheur et le Bruant jaune) mais elles sont toutes accidentelles dans les deux forêts gérées en futaie régulière.

La richesse totale est ainsi plus faible dans la forêt de Zittersheim, bien que la pression d'observation y ait été plus élevée que dans les deux autres forêts (38 I.P.A. à Zittersheim contre 33 à Erckartswiller et 26 à Wingen-sur-Moder). En fait, les espèces manquantes dans la forêt gérée en futaie irrégulière sont essentiellement des oiseaux de milieux semi-ouverts (Pipit des arbres, Pie-grièche écorcheur, Bruant jaune, Torcol fourmilier) et des zones buissonnantes ou de lisière (Mésange boréale, Pic épeichette). Le Pic cendré, absent à Zittersheim lors des recensements, pourrait très bien y nicher une autre année et le Gobemouche noir connaît une répartition irrégulière dans les Vosges du Nord. Une seule espèce absente des dénombrements des deux forêts régulières est présente de façon accidentelle dans la futaie irrégulière (le Lorient d'Europe).

La richesse moyenne par station (nombre moyen d'espèces contactées par I.P.A.) est significativement plus élevée dans la forêt gérée en futaie irrégulière (17,0 espèces) que dans les deux autres forêts (16,0 espèces à Wingen-sur-Moder et 15,5 à Erckartswiller).

Les trois forêts sont donc sensiblement habitées par les mêmes espèces d'oiseaux. Deux différences apparaissent néanmoins : globalement, l'avifaune est plus riche dans les peuplements gérés en futaie régulière, en raison de la présence d'oiseaux de milieux buissonnants et/ou de milieux semi-ouverts dans les jeunes peuplements et ponctuellement, l'avifaune est plus riche dans la forêt gérée en futaie irrégulière, en raison dans doute d'une plus grande diversité végétale (structure et composition).

	Wingen	Erckartswiller	Zittersheim
Richesse totale du peuplement avien de la forêt	40	42	38
Richesse moyenne par I.P.A. (et écart-type)	16,0 (±3,6)	15,5 (±2,8)	17,0 (±2,3)
Densité relative (et écart-type)	22,25 (±4,41)	21,79 (±3,21)	23,83 (±2,68)
Densité totale aux 10 ha	60,6	54,8	64,9
Diversité du peuplement avien	4,35	4,35	4,27
Equitabilité	0,819	0,807	0,813

Tableau 3 : Comparaison des peuplements avifaunistiques des trois forêts (richesse, densité et diversité).

2. Comparaison des densités des espèces nicheuses

Sur les 46 espèces, 18 sont accidentelles dans les trois forêts étudiées (parmi elles, 5 sont présentes dans les trois forêts et 13 uniquement dans 1 ou 2 forêts). Pour les 28 espèces restantes (non accidentelles dans l'une au moins des forêts), il apparaît que (tableau 4) :

- pour 19 espèces, la densité est plus élevée dans la forêt irrégulière. Il s'agit d'oiseaux de vieux peuplements (Pics, Mésanges, Grives, Sittelle torchepot...). La différence est statistiquement significative (test t, $\alpha < 0,05$) pour 5 espèces : le Troglodyte mignon, les Grives musicienne et draine, la Fauvette à tête noire et la Sittelle torchepot.

	Futaies régulières		Futaies irrégulières	
	Moy IPA	écart-type	Moy IPA	écart-type
Pigeon colombin	0,2	0,45	0,21	0,41
Pigeon ramier	1,89	0,93	2,08	0,88
Tourterelle des bois	0,19	0,43	0,03	0,18
Coucou gris	0,64	0,52	0,24	0,43
Pic noir	0,13	0,26	0,26	0,38
Pic épeiche	1,01	0,83	1,08	0,59
Troglodyte	1,32	0,71	1,79	0,74
Accenteur mouchet	0,29	0,49	0,24	0,43
Rougegorge	2,19	0,68	2,05	0,88
Merle noir	1,43	0,63	1,41	0,54
Grive musicienne	0,34	0,51	0,63	0,63
Grive draine	0,19	0,38	0,39	0,5
Fauvette à tête noire	0,81	0,71	1,34	0,63
Pouillot siffleur	0,44	0,6	0,39	0,64
Pouillot véloce	0,98	1,01	1,11	0,69
Pouillot fiftis	0,39	0,7	0,08	0,27
Roitelet huppé	0,29	0,46	0,26	0,45
Roitelet à triple bandeau	0,46	0,54	0,61	0,5
Mésange nonnette	0,2	0,4	0,28	0,48
Mésange huppée	0,25	0,44	0,37	0,49
Mésange noire	1,23	0,8	1,46	0,64
Mésange bleue	0,47	0,54	0,61	0,52
Mésange charbonnière	0,84	0,68	0,93	0,64
Sittelle torchepot	0,69	0,84	1,11	0,8
Grimpereau des bois	0,36	0,52	0,47	0,56
Geai des chênes	0,42	0,33	0,51	0,34
Corneille noire	0,19	0,28	0,14	0,28
Pinson des arbres	2,8	1,11	2,96	0,9

Tableau 4 : Comparaison des abondances des 28 espèces communes (= non accidentelles) dans l'une au moins des 3 forêts.

- pour 9 espèces, la densité est plus élevée dans les forêts régulières. Ce sont surtout des oiseaux de milieux plus ouverts, buissonnants ou clairiérés. La différence est significative (test t, $\alpha < 0,05$) pour 3 espèces : la Tourterelle des bois, le Coucou gris et le Pouillot fitis.

Les espèces de milieux ouverts et buissonnants dominent dans la futaie régulière (suite aux coupes-à-blanc ou aux parcelles couvertes de fourrés) et les espèces de vieilles forêts sont plus abondantes en futaie irrégulière.

3. Comparaison des densités totales des peuplements aviens

La densité relative moyenne par I.P.A. est significativement plus élevée (test t, $\alpha < 0,05$) dans la forêt de Zittersheim (23,83 espèces) que dans les deux autres forêts gérées en futaie régulière (22,25 à Wingen-sur-Moder et 21,79 à Erckartswiller). De même, après conversion des résultats relatifs d'I.P.A. en densités absolues (pour les espèces non dénombrées par cartographie des territoires), on observe la même dominance de la forêt de Zittersheim (64,9 couples aux 10 ha) sur les forêts de Wingen-sur-Moder (60,6 couples) et d'Erckartswiller (54,8 couples).

4. Comparaison des diversités des peuplements aviens

La diversité du peuplement avien prend en compte la richesse et l'abondance de l'avifaune. En raison d'une richesse totale plus faible, la forêt de Zittersheim possède une diversité avienne légèrement moindre que celle des deux autres forêts. L'indice d'équirépartition de cette avifaune est cependant très voisin dans les trois forêts (tableau 3).

CONCLUSIONS

Les peuplements forestiers étudiés présentent des différences de structures de végétation encore faibles puisque l'irrégularisation des peuplements de la forêt de Zittersheim n'a débuté qu'il y a une vingtaine d'années, donc très peu de temps par rapport aux âges d'exploitabilité des arbres, ce qui engendre des différences aviennes relativement faibles. Néanmoins, les oiseaux réagissent très vite aux changements de la structure de la végétation forestière et des différences apparaissent déjà :

- Quelques espèces d'oiseaux des premiers stades de la succession (coupe-à-blanc, fourrés) sont absents de la forêt gérée en futaie irrégulière. Inversement, les oiseaux des stades âgés (notamment les espèces cavernicoles) y sont plus abondants ;

- Globalement la richesse ponctuelle et l'abondance de l'avifaune sont plus élevées en futaie irrégulière alors que la richesse d'ensemble est plus forte en futaie régulière. Mais les différences sont faibles ; l'augmentation n'est que de 8 % pour la richesse ponctuelle et de 8 % aussi pour la densité relative (différences significatives au seuil de 5 %). La richesse totale est plus importante dans les boisements en futaie régulière grâce aux oiseaux nichant dans les premiers stades de la succession, alors que la richesse ponctuelle plus élevée en futaie irrégulière résulte sans doute de diversités plus fortes en espèces et en structures végétales dans cette forêt.

La densité avienne plus élevée à Zittersheim s'explique par la dominance avifaunistique des forêts âgées sur les boisements jeunes, tant dans les successions du chêne que du pin sylvestre ou du hêtre.

Une étude antérieure (MULLER, 1997) a mesuré l'impact sur l'avifaune de l'hétérogénéité des peuplements et des lisières internes au sein d'un grand massif boisé géré en futaie régulière. Il en ressort que l'effet de lisière entre deux parcelles forestières est globalement faible et ne concerne qu'un nombre réduit d'espèces aviennes. Seule la juxtaposition de parcelles âgées et de jeunes peuplements provoque une augmentation qualitative et quantitative de l'avifaune. Dans la forêt de Zittersheim, l'absence de parcelles très jeunes élimine toute lisière de ce type. Malgré cela, l'avifaune nicheuse y est plus riche (au niveau stationnel) et plus dense. Le mélange intime d'arbres d'âges et de compositions variés (mélange pied par pied) a ainsi un impact positif plus important sur l'avifaune nicheuse que l'alternance de parcelles équiennes d'arbres jeunes ou âgés.

La gestion en futaie régulière permet l'utilisation des espaces non boisés (coupes-à-blanc ou jeunes plantations) par des oiseaux de milieux ouverts ou semi-ouverts peu ou pas représentés en forêts plus âgées. Mais peu d'espèces en profitent : la densité totale est de 21,8 couples aux 10 ha (12 espèces) dans une jeune chênaie buissonnante et 48 couples aux 10 ha (14 espèces) dans une jeune pinède (MULLER, 1982 et 1993).

La gestion en futaie irrégulière assure un couvert forestier permettant à un grand nombre d'espèces (notamment cavernicoles) de se reproduire.

BIBLIOGRAPHIE

- BLONDEL J. 1979. Biogéographie et écologie. Masson, collection d'écologie, 15. Paris. 173 p.
- BLONDEL J., FERRY C. et 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.
- MULLER Y. 1982. Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers des Vosges du Nord. II. Etude de l'avifaune nicheuse d'une jeune plantation de Pin sylvestre. *Ciconia* 6 : 73-91.
- MULLER Y. 1987. Les recensements par Indices Ponctuels d'Abondance (I.P.A.), conversion en densités de populations et test de la méthode. *Alauda* : 211-226.
- MULLER Y. 1993. Recherches sur l'écologie des oiseaux forestiers des Vosges du Nord. VI. Etude de l'avifaune nicheuse d'une jeune chênaie buissonnante. *Ciconia* 17 : 167-177.
- MULLER Y. 1997. Les oiseaux de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ciconia* 21 : 1-137.

Biodiversité et gestion forestière

L'exemple des Vosges du Nord :

étude des chauves-souris

par Loïc DUCHAMP (1), Jean-François SCHNEIDER (2) et Bernard HAMON (3)

(1) 5, rue du Kehrweg - 67290 Zittersheim

(2) 32, Grand'rue - 57510 Holving

(3) 20, rue Bouteiller - 57000 Metz

Résumé : Cet article présente les résultats de l'étude menée par la Commission pour l'Etude et la Protection des Eaux Souterraines et des Cavernes de Lorraine dans le cadre du programme «Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace» proposé par le Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord et l'Office National des Forêts. Il fait le bilan des populations de chiroptères observées, principalement à l'aide d'un détecteur à ultrasons, dans la forêt de Zittersheim et celle d'Erckartswiller, deux forêts aux modes de gestion différents.

Summary : This article presents the results of the study conducted by CPEPESC-Lorraine within the framework of the programme «The Dynamics of Biodiversity and the Management of Space» proposed by the Syndicate for Cooperation in the Northern Vosges Regional Natural Park and the National Forestry Office. It provides an assessment of the *Chiroptera* populations observed principally with the help of an ultrasound detector in the forests of Zittersheim and Erckartswiller, two forests managed in differing ways.

Zusammenfassung : Dieser Artikel gibt die Ergebnisse der von CPEPESC-Lorraine im Rahmen des vom Arbeitsverband des Regionales Naturparkes der Nordvogesen und des Landesforstamtes angebotenen Programmes «Dynamik der Biodiversität und Raumbewirtschaftung» durchgeführten Studie bekannt. Es wird Bilanz der hauptsächlich mittels Ultraschalldetektoren in den unterschiedlich bewirtschafteten Wäldern von Zittersheim und Erckartswiller beobachteten Fledermauspopulationen gezogen.

Mots-clés : chiroptères, forêt, gestion, recensement, Vosges du Nord.

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un appel d'offre «Dynamique de la biodiversité et gestion de l'espace» lancé par le Ministère de l'Environnement en 1994, le Syndicat de Coopération pour le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord et l'Office National des Forêts (O.N.F.) ont proposé une étude pluridisciplinaire dont l'objectif était d'évaluer l'influence du traitement forestier sur les peuplements ainsi que sur la faune et la flore. Deux modes de gestion étaient comparés : la futaie régulière en forêt d'Erckartswiller et la futaie irrégulière en forêt de Zittersheim.

Parmi les différentes communautés animales retenues, l'étude des chiroptères a été confiée à la Commission Permanente d'Etude et de Protection des Eaux, du Sous-sol et des Cavernes de Lorraine (CPEPESC). Cette étude a été menée au cours de la saison estivale 1996.

I. SITUATION DES ZONES D'ÉTUDE

Les deux communes concernées par l'étude, Zittersheim et Erckartswiller, se trouvent dans la partie bas-rhinoise du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, au nord de La Petite-Pierre.

L'étude concernait deux massifs forestiers contigus de contexte écologique comparable, l'un traité en futaie régulière (forêt d'Erckartswiller) et l'autre en futaie irrégulière (forêt de Zittersheim). Les deux forêts ont une superficie sensiblement identique de 450 ha. L'analyse des peuplements et des stations a été réalisée par l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (BRUCIAMACCHIE *et al.*, 1999).

II. MÉTHODE

1. Les différentes techniques d'inventaire

La méthode la plus classique pour appréhender les populations de chiroptères est la prospection de gîtes d'hivernage (souterrains, forts, etc.) ou la recherche de grosses colonies de mise-bas en milieu bâti (greniers, toits, églises, etc.). Cette méthode permet d'identifier les espèces assez facilement et d'en dénombrer les individus, car les chauves-souris sont généralement posées et à portée de vue. La recherche d'indices de présence, tels que guano (= crottes de chauves-souris), cadavres ou bien l'analyse de pelotes de réjection de rapaces nocturnes donnent également de précieuses indications sur les espèces. Enfin, rochers et arbres creux peuvent être propices à la présence de chauves-souris (HAMON *et al.*, 1994).

D'autres techniques sont utilisables :

- La capture au filet permet d'identifier à 100 % toutes les espèces capturées. Le taux de capture est très aléatoire, les chauves-souris étant capables de détecter un fil de diamètre de l'ordre du demi-millimètre. Il faut généralement que l'individu, pour qu'il soit capturé, cesse d'émettre un instant. En forêt, les obstacles sont nombreux du fait de la végétation, des branchages, ce qui rend les animaux en vol particulièrement attentifs (F. SCHWAAB, comm. pers.). D'autre part, la capture présente un risque que l'animal se blesse ou meurt d'une crise cardiaque sous l'effet du stress.

- Les études acoustiques :

L'étude acoustique se fait à l'aide d'un détecteur hétérodyne d'ultrasons (BARATAUD, 1993). Cette technique ne permet pas une identification certaine de toutes les espèces susceptibles d'être rencontrées. Par contre, son avantage indéniable sur la capture au filet est d'être sans danger pour l'animal, sans stress et qu'elle peut être utilisée n'importe où. Cette technique permet une bonne approche pour un inventaire spécifique et est bien adaptée pour une recherche de densité.

- L'expansion de temps : certains sonomètres possèdent une mémoire digitale permettant de stocker l'intégralité du signal émis par la chauve-souris, puis de la faire entendre dans l'audible, ralenti un certain nombre de fois (de 2 à 50 fois selon les modèles). L'emploi d'une technique de détermination acoustique nécessite dans tous les cas, des détecteurs, de l'expérience et de la méthode car certains contacts ne pourront être identifiés avec fiabilité.

- La pose de nichoirs constitue enfin une autre technique qui doit être confortée par d'autres approches. En effet, toutes les espèces n'ont pas été rencontrées par ceux qui utilisent cette technique depuis longtemps (WISSING, 1993) et il faut un minimum de deux ans avant d'obtenir des résultats intéressants (F. SCHWAAB, comm. pers.). C'est en fait une technique intéressante en complément d'un inventaire sonométrique.

2. Le protocole utilisé :

L'identification acoustique demeure actuellement la meilleure technique pour aborder le paramètre «densité» des populations de chiroptères pendant leurs périodes d'activité, c'est pourquoi cette méthode a été utilisée pour étudier les chauves-souris de façon comparative entre les deux massifs.

Le protocole prend appui sur les travaux d'ornithologues déterminant des indices kilométriques d'abondance (IKA). Il s'agit de parcourir un itinéraire (transect), détecteur en main, en balayant lentement l'échelle des fréquences et de noter tous les contacts avec un chiroptère (visuel et/ou sonore). La marche se fait à vitesse constante (environ 2 km/h). A chaque contact, il s'agit d'identifier l'espèce et le nombre d'individus.

Il est possible que le même individu ait été comptabilisé plusieurs fois, c'est pourquoi cette technique demeure valable pour une étude comparative alors que les densités n'ont aucune valeur dans l'absolu :

$$\text{IKA} = \text{Nombre de contacts établis} / \text{Distance parcourue en km}$$

Lorsque l'espèce n'a pu être déterminée, elle a été notée *Chiroptera sp.*

3. Les transects :

Nous avons décomposé chaque massif en 7 transects ou zones de dimensions comparables. A ces zones nous ajoutons les deux villages, ce qui nous donne 16 zones à prospecter, soit un minimum de 16 sorties.

A l'intérieur de chaque zone, un itinéraire aléatoire a été suivi, tel que le tracé des sentiers avec des incursions dans les sous-bois. Généralement, la durée de la marche était de deux heures en moyenne (de 1 heure 30 à 3 heures selon les zones) afin de couvrir la première période d'activité des chauves-souris. Les prospections débutaient une heure avant la tombée de la nuit afin de ne pas rater la sortie des Noctules (premières espèces en chasse).

Ainsi, ont été parcourus tous les types de parcelles, des vieilles futaies aux coupes rases en passant par des perchis et ce, quels que soient les peuplements (feuillus, résineux ou mélanges).

Sur deux heures de marche, une distance moyenne de 4 km était parcourue. Toutefois, selon le terrain, les distances ont pu varier de 2,6 à 6,6 km.

4. Période choisie :

L'inventaire comparatif entre les deux massifs a été réalisé de la saison de transit printanier à celle de mise-bas et d'élevage des jeunes (mi-avril à mi-juillet) étant donné que ce sont les colonies qui ont le plus d'exigences écologiques. A cette période, le milieu doit offrir plusieurs gîtes assez spacieux pour héberger une colonie de femelles et leurs jeunes ou posséder en sa périphérie des gîtes de substitution (habitations, arbres creux, rochers, etc. ...), mais aussi offrir des zones de chasse suffisamment riches en nourriture pour répondre aux besoins énergétiques des chiroptères.

III. RÉSULTATS

SCHNEIDER et HAMON avaient effectué une première phase d'inventaire en forêt de Zittersheim en 1993 et trouvé six espèces. Celles-ci sont prises en considération dans la comparaison ci-dessous.

1. Les espèces identifiées :

Les genres et espèces suivants ont été observés sur les deux zones de l'étude :

	Espèces	Z	E
Genre <i>Pipistrellus</i> Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Schreber, 1774)	X	X
Genre <i>Eptesicus</i> Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774)	X	X
Genre <i>Nyctalus</i> Noctule commune Noctule de Leisler	<i>Nyctalus noctula</i> (Schreber, 1774) <i>Nyctalus leisleri</i> (Kuhl, 1817)	X X	X
Genre <i>Myotis</i> Vespertilion de Daubenton Grand Murin	<i>Myotis daubentoni</i> (Kuhl, 1817) <i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	X X	
Genre <i>Plecotus</i> Oreillard sp.		X	

Z = Zittersheim E = Erckartswiller

Tableau 1 : Genres et espèces observés sur les deux zones d'étude.

2. Comparaison et analyse :

2.1. Comparaison des résultats Zittersheim-Erckartswiller :

2.1.1. Les espèces

La diversité :

- Sur la zone étudiée de Zittersheim, 7 espèces ont été observées en action de chasse : Pipistrelle commune, Sérotine commune, Noctule commune, Vespertilion de Daubenton, Oreillard sp., Noctule de Leisler et Grand Murin, les quatre premières espèces avaient déjà été observées lors des inventaires effectués en 1993. Les individus non identifiés pourraient correspondre à *Myotis sp.*, *Pipistrellus sp.* ou *Plecotus sp.*

- Sur la zone étudiée d'Erckartswiller, 3 espèces ont été identifiées de manière certaine : la Pipistrelle commune, la Sérotine commune et la Noctule commune.

Les individus non identifiés peuvent correspondre aux mêmes espèces qu'à Zittersheim, *Myotis sp.*, *Pipistrellus sp.* ou *Plecotus sp.*

Il apparaît donc, avec toutefois une réserve due aux individus non identifiés, que la zone étudiée de Zittersheim est plus diversifiée sur le plan des espèces de chauves-souris que celle d'Erckartswiller, pendant la période correspondant aux mises-bas et à l'élevage des jeunes.

Les populations observées :

Ce sont les espèces qualifiées de communes qui sont les plus souvent rencontrées sur les deux massifs. Dans l'ordre décroissant d'effectifs, on a trouvé :

- Pipistrelle commune (66,5 % des contacts à Zittersheim et 81,4 % à Erckartswiller) ;

- Sérotine commune (11,2 % des contacts à Zittersheim et 4,2 % à Erckartswiller) ;

- Noctule commune (3,5 % des contacts à Zittersheim et 0,85 % à Erckartswiller) ;

- Pour ce qui est des Vespertiliens de Daubenton rencontrés à Zittersheim, leur observation est plus à mettre en relation avec la présence d'étangs dans la vallée de la Moder et dans le vallon du Maythal qu'avec la qualité du milieu forestier ;

- Les proportions, inférieures à 15 % et quasi identiques, d'individus non identifiés, notés chiroptères *sp.*, tant sur Zittersheim que sur Erckartswiller, dues aux limites de l'identification acoustique sont à relever, mais ne peuvent pas être exploitées en dehors du simple contact.

Détail des effectifs rencontrés par espèces :

Zittersheim :

- La Pipistrelle commune : Elle se reproduit assurément, car 1 jeune a été trouvé dans le village. Deux colonies ont été rencontrées sortant de leur gîte : 1 dans le village (10 individus) et 1 dans la vallée de la Moder (20 individus sortant d'une résidence secondaire ou d'un arbre proche). 7 groupes de Pipistrelles communes ont été rencontrés en chasse.

- La Sérotine commune : Nous suspectons fortement la présence d'une colonie de reproduction dans le village de Zittersheim, mais nous ne l'avons pas trouvée. 17 individus en chasse ont été contactés.

- La Noctule commune : Au moins 2 individus chassent au-dessus de la vallée de la Moder et au moins 1 individu chasse au-dessus du Maythal.

- Au moins 4 Vespertilions de Daubenton chassent au-dessus des étangs de la vallée de la Moder.

- Pour ce qui est de la Noctule de Leisler et du Grand Murin, il s'agit certainement d'individus erratiques, à rattacher à des colonies proches (G. BAUMGART et col., comm. pers.) .

- Le cas de l'*Oreillard sp.* est plus délicat, car cette espèce peut passer inaperçue en chasse (la puissance de ses cris porte au maximum à 5 mètres).

Erckartswiller :

- La Pipistrelle commune : Nous avons noté la présence d'au moins une colonie de gîte dans le village, très probablement de reproduction, bien qu'aucun jeune n'ait été trouvé comme à Zittersheim et 6 groupes de Pipistrelles communes ont été observés en chasse.

- La Sérotine commune : Seuls 4 individus en chasse ont été contactés.

- La Noctule commune : 1 seul individu a été contacté en chasse au-dessus de la forêt.

2.1.2. Comparaison des IKA :

Pour juger de la richesse chiroptérologique, le critère de la diversité spécifique ne suffit pas. Il s'agit donc ici de comparer les densités de contact ou IKA pour comparer de manière relative les densités de chiroptères, toutes espèces confondues, des deux massifs.

Dans un premier temps, la comparaison des IKA globaux nous montre que, pour une distance parcourue quasi équivalente, nous avons établi deux fois plus de contacts à Zittersheim qu'à Erckartswiller :

IKA global = 5,7 à Zittersheim contre 2,8 à Erckartswiller

Donc, la densité en chauves-souris est plus grande dans le massif forestier de Zittersheim que dans celui d'Erckartswiller.

2.2. Analyse de l'incidence de la gestion forestière :

La forêt de Zittersheim apparaît globalement plus riche sur le plan chiroptérologique que celle d'Erckartswiller ; mais dans quelle mesure la gestion des deux massifs boisés intervient-elle ?

A Zittersheim, des étangs sont présents dans les deux principales vallées (de la Moder et le Maythal), alors qu'il n'y en a pas dans la zone d'étude d'Erckartswiller. Ce facteur détermine certainement la présence des Vespertilions de Daubenton en chasse sur Zittersheim. Le massif de Zittersheim est encadré par deux villages (Zittersheim et Puberg) et un hameau (Moderfeld) offrant des gîtes potentiels aux espèces anthropophiles (Pipistrelles communes, Sérotines communes, Oreillard gris, Grand Murin, ...).

D'autre part, le Maythal et la vallée de la Moder comportent des résidences secondaires qui sont susceptibles d'offrir d'autres gîtes aux espèces anthropophiles adaptées aux fissures. Par contre, le massif d'Erckartswiller, encadré par deux villages, ne possède pas de résidences secondaires dans ses vallons. Ces deux facteurs pourraient favoriser un meilleur accueil des chiroptères dans la zone d'étude de Zittersheim par rapport à celle d'Erckartswiller.

Mais d'autres facteurs peuvent influencer sur la richesse chiroptérologique de ces deux massifs. Nous avons noté l'absence systématique de chauves-souris en chasse au niveau des zones de fourrés, gaulis et perchis lorsqu'elles occupent de grandes surfaces uniformes. L'absence de peuplements en fourrés, gaulis ou perchis sur de telles surfaces à Zittersheim et, à l'inverse, la présence de grandes surfaces de ces peuplements à Erckartswiller confortent l'hypothèse de l'influence de ce facteur, sachant que les densités de chiroptères sont plus importantes dans le premier massif que dans le second.

La majorité des chauves-souris (Pipistrelles communes et quelques Sérotines communes) se rencontre en chasse dans les futaies à gros bois ou à bois moyens. Par ailleurs, même si on rencontre des chauves-souris dans des peuplements jeunes, il semblerait que les feuillus soient plus accueillants pour les Pipistrelles communes que les résineux.

A Zittersheim comme à Erckartswiller, la grande majorité des chauves-souris rencontrées dans la forêt étaient des Pipistrelles communes. Cette espèce se reproduit de manière certaine à Zittersheim (un jeune ayant été trouvé) et très probablement à Erckartswiller. La Sérotine commune présente une population intéressante sur Zittersheim avec une vingtaine d'individus estimés présents.

La très discrète présence de la Noctule commune (3 individus en chasse seulement au-dessus de deux vallées de Zittersheim et 1 individu seulement pour Erckartswiller) est à noter, alors que dans les forêts du plateau lorrain, cette espèce est commune (F. SCHWAAB, comm. pers.). Le statut des Oreillards, quant à lui, est impossible à définir dans le cadre de cette étude et mériterait une recherche plus approfondie.

CONCLUSIONS

L'étude comparative, basée sur une prospection sonométrique, a montré que le massif forestier de Zittersheim, géré en futaie irrégulière, est plus riche en chauves-souris que celui d'Erckartswiller, géré en futaie régulière, qu'il s'agisse de la diversité spécifique ou de la densité. Deux fois plus de chauves-souris ont globalement été re-

pérées dans le massif de Zittersheim. 7 espèces ont été identifiées avec certitude dans le massif de Zittersheim contre 3 à Erckartswiller.

La mosaïque de milieux, indépendante de la sylviculture, peut, en partie, expliquer cette différence. La présence d'étangs et de résidences secondaires en

fond de vallée, la proximité de zones d'habitations favorisent probablement l'installation des chiroptères à Zittersheim.

Toutefois, la comparaison des résultats de prospection avec l'analyse et la cartographie des peuplements (BRUCIAMACCHIE *et al.*, 1999) suggérerait qu'il existe au moins un facteur lié au mode de gestion de la forêt influant sur les populations de chiroptères. En effet, les jeunes peuplements tels que les fourrés, gaulis et perchis n'offrent pas de possibilités de gîtes d'accueil aux chauves-souris. En outre, ce type de peuplement forestier ne paraît pas favorable pour la chasse des chauves-souris. Par contre, les futaies et vieilles futaies sont des zones de chasse utilisées par les chiroptères, seuls ou en colonie. De par son mode de gestion, le massif d'Erckartswiller possède une grande surface en semis, fourrés, gaulis et perchis par rapport au massif de Zittersheim, traité en futaie irrégulière, qui ne possède pas de telles surfaces uniformes en gaulis ou perchis. Les peuplements de régénération de futaies régulières tels qu'ils se présentent dans la forêt d'Erckartswiller ne paraissent guère favorables aux populations de chiroptères.

BIBLIOGRAPHIE

- BARATAUD M. 1993. Identification des chauves-souris grâce à l'étude de leurs émissions ultrasonores, possibilités et limites actuelles. *Actes des quatrième rencontres nationales «chauves-souris»*. SFPEM. pp. 42-53.
- BRUCIAMACCHIE M., GRANDJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- HAMON B., GERARD Y., RENNER M. et SCHNEIDER J.F. 1994. Contribution à l'étude des chauves-souris (*Chiroptera*, Mam.) dans la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord : espèces, répartition, statut. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 3 : 95-112.
- WISSING H. 1993. Fledermauserfassungen im Sommer 1992 und Winter 1992/93 in der Pfalz. *Fauna Flora Rheinland-Pfalz* 7, Heft 1 : 220-223.

Biodiversité et gestion forestière L'exemple des Vosges du Nord : étude des forêts en tant qu'habitat des cervidés

par François KLEIN, Patricia HEUZE et Pierre BROSSIER

Office National de la Chasse
C.N.E.R.A. Cervidés - Sanglier
Au bord du Rhin - B.P. 15 - Gerstheim
67154 Erstein Cedex

Résumé : Des relevés floristiques et le recensement de fèces de cerf et de chevreuil ont été réalisés en fin d'hiver 1995-96 et 1996-97 sur deux forêts, l'une gérée en futaie régulière, l'autre en futaie irrégulière (sylviculture proche de la nature). La futaie régulière accueille plus de cerfs que la futaie irrégulière qui accueille elle-même davantage de chevreuils. L'analyse a porté sur les valeurs alimentaire et refuge des peuplements disponibles dans les deux unités et leur plus ou moins bonne adaptation aux cervidés. Ainsi, la sylviculture pratiquée en futaie irrégulière provoque une forte stratification des peuplements et une structure plus clairiérée favorable au chevreuil. Elle est favorable au développement de la ronce qui détermine largement les potentialités alimentaires hivernales. Dans la futaie régulière, les disponibilités alimentaires les plus fortes sont concentrées sur les très jeunes peuplements. Cette structuration horizontale de l'habitat est donc moins favorable à son exploitation diffuse par les cervidés.

Summary : Floristic sampling and a census of deer and roe deer faeces were conducted at the end of winter in 1995-96 and 1996-97 in two forests, one managed as a regular plantation, the other as irregular (forest management based on natural processes). The regular plantation harbours more deers than the irregular plantation which, in fact, harbours more roe deer. The analysis concentrated on dietary values and population sanctuary available in the two units and their more or less adequate adaptation to the Cervidae. In this way, forestry practised in irregular plantation provokes a marked stratification of the populations and a structure richer in clearings favourable to the roe deer. It is favourable to the development of the bramble which largely determines dietary potential in winter. In the regular plantation, the strongest dietary availability is concentrated on the very young growth. This horizontal structure of the habitat is therefore less favourable to diffuse exploitation by the *Cervidae*.

Zusammenfassung : 1995-96 und 1996-97 wurden pflanzliche Aufzeichnungen vorgenommen und die Hirsch- und Rehlosungen in beiden Wäldern, von denen der eine als regelmässiger, der anderer als naturnaher Hochwald bewirtschaftet werden, gezählt. Im regelmässigen Hochwald gibt es mehr Hirsche als im naturnahen, in dem jedoch wieder mehr Rehe vorkommen. Die Analyse betraf die Futterwerte und Zufluchtsmöglichkeiten in den beiden Beständen, und ihre mehr oder weniger gute Eignung für Cervidaeen. Demnach bewirkt die Forstbewirtschaftung als naturnaher Hochwald eine starke Stratifizierung der Populationen und eine stärker aufgelichtete, für das Reh günstige Struktur. Sie begünstigt den Wuchs von Rubus-Ranken, die weitgehend die Futtermenge für den Winter bestimmen. Im regelmässigen Hochwald sind die stärksten Futtermöglichkeiten auf sehr junge Bestände beschränkt. Diese horizontale Strukturierung des Habitats ist daher für die Nutzung durch Cervidaeen weniger geeignet.

Mots-clés : sylviculture, futaie régulière, futaie irrégulière, cerf, chevreuil, valeur alimentaire, valeur refuge.

Cette étude se situe dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire dont l'objectif est la comparaison de la biodiversité de deux forêts des Vosges du Nord (Zittersheim et Erckartswiller), traitées respectivement en futaie régulière et en futaie irrégulière.

Elle vise à analyser les valeurs alimentaire et refuge des peuplements disponibles dans les deux unités et leur plus ou moins bonne adaptation aux cervidés.

I. MÉTHODE

1. Échantillonnage

Cette étude s'appuie sur deux années de relevés, la première à l'issue de l'hiver 1995/96 et la seconde l'année suivante. En 1995/96, 166 et 158 placeaux ont été respectivement visités en forêt d'Erckartswiller et de Zittersheim. Cet échantillonnage systématique a permis d'étudier la répartition de la végétation et des animaux sur l'ensemble de la zone d'étude. En 1996/97, un échantillonnage sélectif complémentaire a porté respectivement sur 64 et 95 relevés. Il a permis de renforcer l'échantillon de données afin de disposer d'un nombre suffisant de relevés dans chacune des neuf catégories de peuplements définies d'après le travail de BRUCIAMACCHIE *et al.* (1999). Il s'agit de peuplements à base de hêtre (catégorie 1), de chêne (catégorie 2), d'épicéa (catégorie 3), de pin (catégorie 4), de peuplements de fourrés, gaulis et perchis d'essences feuillues (catégorie 5), fourrés, gaulis et perchis mélangés feuillus et résineux (catégorie 6), semis, fourrés, gaulis et perchis d'essences résineuses (catégorie 7), de peuplements à base de sapin (catégorie 8), de peuplements mélangés hêtre/mélèze (catégorie 9). Les peuplements de type 8 et 9 ont été distingués car le type 8 est présent à Zittersheim et non à Erckartswiller et le type 9 est présent à Erckartswiller et non à Zittersheim.

2. Données préexistantes

Pour chaque placeau, le travail de BRUCIAMACCHIE *et al.* (*op. cit.*) fournit le type stationnel et la stratification verticale. Toutefois, compte tenu des erreurs inévitables de cheminement et de la relative précision des cartes, l'opérateur vérifiait systématiquement qu'il se trouvait bien dans le type indiqué dans l'étude citée précédemment :

- * type stationnel : dix types ;
- * stratification verticale : quatre types correspondant aux coupes rases (absence de stratification), aux peuplements adultes (absence strates basses), aux régénérations sous peuplements adultes (absence de strates intermédiaires) et aux peuplements stratifiés (plusieurs strates).

3. Recueil des données

Des inventaires de gagnage ont été réalisés avec une méthode dérivée de la méthode Aldous (ALDOUS, 1944). Il s'agit de relever, sur des placeaux de 40 m², l'ensemble de la végétation ligneuse et semi-ligneuse vivante présente à moins de 1 m 20 du sol (hauteur limite d'accessibilité au plus petit des deux cervidés) et de noter le recouvrement de chaque espèce (projection au sol de la surface foliaire occupée par l'espèce). Six classes de recouvrement R sont prédéfinies : R < 1%, 1% < R < 5%, 5% < R < 20%, 20% < R < 50%, 50% < R < 75%, R > 75%.

L'observateur estime ensuite le taux d'abrouissement pour chaque espèce recensée (il peut s'agir de la consommation de feuilles ou de bourgeons). Six classes d'abrouissement A sont prédéfinies : $A < 1\%$, $1\% < A < 5\%$, $5\% < A < 20\%$, $20\% < A < 50\%$, $50\% < A < 75\%$, $A > 75\%$.

Ce premier inventaire est complété par un comptage de fèces. L'observateur élargit le plateau pour obtenir une superficie circulaire de 100 m² sur laquelle il relève le nombre de tas de moquettes (fèces de chevreuil) et de fumées (fèces de cerf).

Les relevés sont effectués entre mars et avril (GUIBERT, 1997). En effet, passé l'aoûtement, la quantité et la qualité de la végétation ligneuse et semi-ligneuse sont stables jusqu'au débournement suivant et la lecture à la fin de l'hiver procure une image synthétique de l'utilisation de l'habitat par les cervidés pendant l'automne et l'hiver. Le recensement des fèces doit également avoir lieu à cette époque, avant que les conditions climatiques printanières ne provoquent leur dégradation.

Ces différents relevés nous ont fourni :

- * une estimation de l'alimentation potentielle,
- * une estimation de la part prélevée par les animaux,
- * une indication sur la fréquentation par les animaux.

4. Traitement des données

La comparaison des séries de données obtenues sur chacune des deux forêts et sur chacun des types de peuplements est réalisée par des tests t pour les moyennes, par des tests de χ^2 pour les proportions ou les fréquences. L'effet des différentes variables du milieu est testé par une analyse de variance à un ou plusieurs facteurs.

Une Analyse des Correspondances Multiples a été réalisée pour connaître la structure globale des variables après avoir regroupé les données sur la base d'effectifs par classe constants. Sont prises en compte les variables descriptives de l'environnement forestier (extraites de la base de données de Bruciamacchie *et al.*) et les données relevées lors de l'inventaire de terrain de la présente étude (recouvrements en différentes espèces et nombre de tas de moquettes et de fumées).

Pour ces analyses, nous disposons de deux séries de données issues des deux années consécutives, relevées par deux observateurs et suite à des conditions météorologiques différentes.

Les comparaisons de ces séries chronologiques seront donc réalisées avec prudence.

II. RÉSULTATS

1. Résultats sur l'ensemble du massif (échantillonnage systématique) :

1.1. Fréquentation des forêts par les cervidés

La forêt de Zittersheim est davantage fréquentée par le chevreuil (975 indices de présence trouvés contre 471) alors qu'Erckartswiller l'est davantage par le cerf (122 indices contre 6). La répartition des cervidés dans les massifs n'est pas homogène et les animaux fréquentent préférentiellement certains types de peuplements forestiers. Les plus grandes quantités d'indices de présence de chevreuils ont été recensées dans les peuplements résineux alors qu'ils sont également répartis entre les peuplements résineux, mixtes et feuillus à Erckartswiller. Dans cette forêt, le cerf occupe surtout les jeunes peuplements, notamment résineux.

1.2. Consommation ligneuse

L'étude des masses abruties montre une exploitation des ressources alimentaires variable suivant les zones géographiques considérées. Toutes les espèces ne sont pas sollicitées de la même façon. A Erckartswiller, un plus grand nombre d'espèces est consommé et généralement plus fortement qu'à Zittersheim. Dans cette forêt, la ronce constitue une large part du régime des cervidés (89%). Cette espèce est également importante dans le régime des animaux à Erckartswiller (49%), ainsi que la myrtille (19%). L'étude des taux de recouvrement de la ronce et de la myrtille montre que la ronce est 2,4 fois plus recouvrante à Zittersheim et que la myrtille est 4,5 fois plus recouvrante à Erckartswiller. Cette première approche montre donc une utilisation différentielle des massifs par les cervidés, apparemment en relation avec la distribution des espèces végétales.

1.3. Comparaison des deux campagnes de relevés

La comparaison des résultats obtenus pour deux hivers met en évidence plusieurs différences significatives uniquement sur des peuplements adultes. On observe moins d'indices de présence au cours de la seconde année résultant peut-être de conditions climatiques variables d'une année à l'autre. Par ailleurs, la répartition des fèces au sein des peuplements feuillus, mixtes et résineux ne diffère pas avec l'année. Les abrutissements sont supérieurs la deuxième année, et toujours dans des peuplements résineux. L'hiver 1996/97 ayant été plus rigoureux, les animaux ont pu utiliser de façon plus intense les peuplements résineux car ils offrent le meilleur couvert.

A Zittersheim :

Nombre de moquettes : différence significative pour les peuplements à base d'épicéa ($p=0.03$) et de pin ($p=0.02$), avec des moyennes supérieures la première année.

Recouvrements : différence pour la ronce dans les peuplements à base de chêne ($p=0.03$), avec une moyenne supérieure la seconde année.

Abrouissements : différence pour la framboise dans les peuplements à base de sapin ($p=0.001$), et pour la myrtille dans les peuplements à base d'épicéa ($p=0.003$), de pin ($p=0.014$) et de sapin ($p=0.035$). Les moyennes sont toutes supérieures la deuxième année.

A Erckartswiller :

Nombre de moquettes : différence pour les peuplements à base de hêtre ($p=0.003$) et de chêne ($p=0.02$), avec des moyennes supérieures la première année.

Nombre de fumées : différence pour les peuplements à base de chêne ($p=0.029$), la moyenne étant supérieure la première année.

Abrouissements : différence pour la myrtille dans les peuplements à base de pin ($p=0.007$), avec une moyenne supérieure la deuxième année.

2. Résultats de l'étude d'un nombre restreint de peuplements (échantillonnage sélectif)

Sur les deux années, 483 relevés ont été réalisés, 230 à Erckartswiller ($nE=230$) et 253 à Zittersheim ($nZ=253$).

2.1. Description des interactions entre les différentes variables

L'ACM montre que la forêt de Zittersheim est associée à la présence de régénération sous peuplements adultes, à une forte fréquentation par les chevreuils et à un recouvrement important en ronce alors que celle d'Erckartswiller est associée à l'absence de régénération sous peuplements adultes mais à la présence de coupes rases et de peuplements de semis, une fréquentation par les cerfs et la présence de myrtille.

Les deux premiers facteurs expliquent 12% de la dispersion des variables.

2.2. Résultats des relevés floristiques

2.2.1. Une approche qualitative : le cortège floristique

Le nombre d'espèces rencontrées dans les peuplements étudiés est sensiblement le même pour chaque forêt (22 à Erckartswiller et 24 à Zittersheim). 20 espèces sont communes aux deux massifs (le bouleau, la bourdaine, le charme, le châtaignier, le chêne, l'épicéa, l'érable, le hêtre, le mélèze, le merisier, le pin, le sapin, le sorbier, le sureau, la callune, le sarothamne à balais, le chèvrefeuille des bois, la myrtille, le framboisier et la ronce). A Erckartswiller, figurent en plus le

noisetier et le saule, et à Zittersheim, le tremble, l'orme, le frêne et le douglas. A Erckartswiller, la majorité des espèces est consommée dans plus de 80 % des cas, ce qui traduit une pression sur la flore plus importante qu'à Zittersheim.

Les cortèges floristiques restreints (fréquence d'apparition supérieure à 10 %) d'Erckartswiller et Zittersheim ont en commun, la ronce, la myrtille, l'épicéa, le hêtre et le framboisier. Nous trouvons en plus le chêne et le pin à Erckartswiller, et le sapin à Zittersheim. Pour les deux forêts, ces espèces sont consommées dans plus de 50 % de cas et constituent donc une part importante du régime alimentaire des animaux fréquentant les peuplements étudiés.

2.2.2. Une approche quantitative : les masses abrouties

Pour une espèce donnée, la masse abroutie correspond à la somme des produits du recouvrement et de l'abrouτισsement, soit :

$$MA = \sum (R_{ij} \times A_{ij})$$

n=nombre de placeaux,
R_{ij}=taux de recouvrement de l'espèce i sur le plateau j,
A_{ij}=taux d'abrouτισsement de l'espèce i sur le plateau j.

Rappelons que d'une année à l'autre nous avons observé des différences de recouvrements et d'abrouτισsements. L'espèce faisant l'objet des différences les plus fréquentes et sur les deux forêts est la myrtille. La part que nous lui accordons dans le régime alimentaire est donc discutable. Il en est de même pour la ronce et le framboisier, mais avec des différences moins fréquentes. Cependant, ces trois espèces sont connues pour être appréciées par les cervidés et représentent toujours des parts importantes de leur alimentation lorsqu'elles sont suffisamment présentes (ONC, 1983 ; ONC, 1989 ; MAILLARD et PICARD, 1987).

Pour Erckartswiller, nous retrouvons l'utilisation d'un plus grand nombre d'espèces, avec la ronce et la myrtille qui représentent plus de 60 % des quantités consommées. A Zittersheim, ces deux espèces ont une part de plus de 80 % et la ronce à elle seule fournit plus de la moitié de masse totale prélevée dans les peuplements étudiés.

Le taux d'abrouτισsement moyen traduit l'intérêt réel de chaque espèce.

$$A_{\text{moy}} = \frac{\sum (R_{ij} \times A_{ij})}{\sum R_{ij}}$$

Etabli pour les espèces les plus fréquentes, il permet de distinguer 3 classes :

- le hêtre, l'épicéa et le pin
(abrouτισsements moyens de 2,5 %, 3 % et 5,5 %),
- le sapin, l'érable et le chêne
(abrouτισsements moyens de 21 %, 25 % et 20,5 %),
- la myrtille, la ronce et le framboisier
(abrouτισsements moyens de 40,5 %, 61 % et 67,4 %).

Pour l'analyse du potentiel alimentaire des peuplements étudiés, nous considérons les espèces les plus appétentes (abrouτισsement moyen > 20 %). La myrtille et la ronce sont très recherchées et constituent une part importante de

l'alimentation des animaux. Le framboisier présente de faibles recouvrements dans les deux forêts et ne sera donc pas considérée comme les autres espèces. Les niveaux d'appétence du chêne, de l'érable et du sapin sont tels que nous ne pouvons les négliger dans l'étude des potentialités alimentaires.

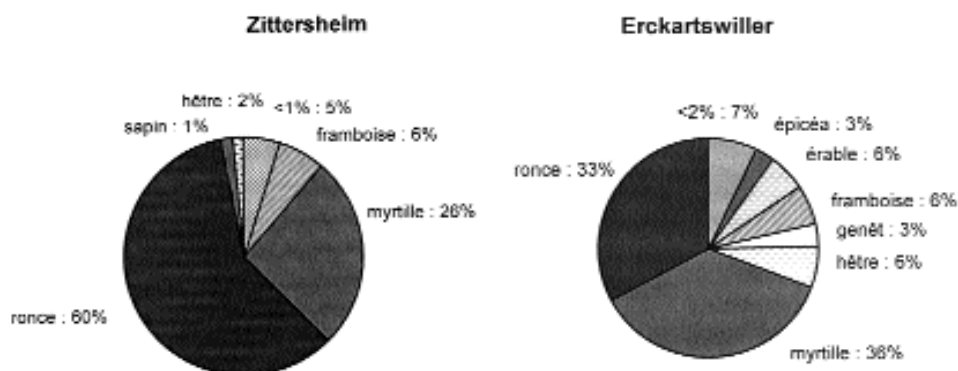


Figure 1 : Comparaison des masses abrouties sur les deux forêts.

2.2.3. Étude des disponibilités alimentaires

L'étude de la somme des recouvrements moyens par catégories de peuplements permet de retrouver les résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples pour la myrtille qui est plus recouvrante à Erckartswiller, et pour la ronce à Zittersheim. Le framboisier est plus abondant à Erckartswiller, mais son recouvrement est faible dans les deux forêts.

A Erckartswiller, les jeunes peuplements mixtes et résineux offrent les plus grandes quantités d'espèces appétentes. Ces mêmes peuplements à Zittersheim sont au contraire moins riches. Cette différence pourrait résulter de l'échantillonnage initial : la catégorie jeune peuplement regroupe semis, fourrés et gaulis.

Il se trouve qu'à Zittersheim les jeunes peuplements sont essentiellement composés de gaulis et perchis, dans lesquels la densité est telle que la lumière ne peut favoriser la croissance de végétation à moins de 1,20 m du sol. Ainsi, sur l'ensemble des jeunes peuplements, les recouvrements moyens en espèces appétentes sont trois fois moins importants dans les gaulis et perchis que dans les semis et fourrés (13 % contre 39 %). A Zittersheim, ce sont les peuplements résineux adultes qui offrent les meilleures potentialités.

Concernant les peuplements particuliers à chaque forêt, les peuplements à base de sapin présentent le recouvrement maximum en espèces appétentes alors que le mélange hêtre-mélèze a un potentiel moyen par comparaison aux autres catégories.

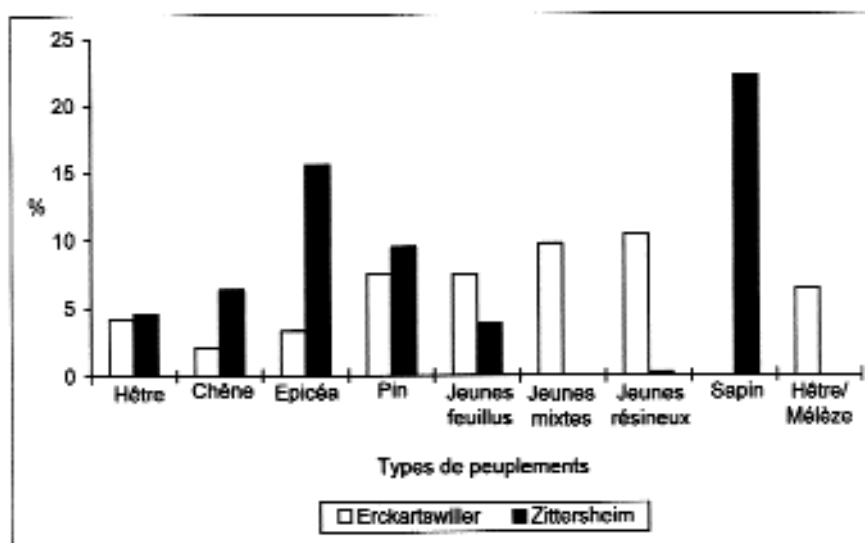


Figure 2 : Somme des recouvrements des espèces appétentes par types de peuplements.

Plusieurs facteurs indépendants de la sylviculture peuvent intervenir dans le déterminisme du degré de recouvrement d'une espèce. Rappelons que 10 types stationnels avaient été définis par l'étude préalable dont trois, très peu représentés n'ont pas été pris en compte dans les calculs en raison d'une trop faible représentation. Une analyse de variance montre un effet significatif de la station sur les recouvrements en ronce et myrtille (respectivement $F=5.74$, $ddl=7$, $p<0.01$ et $F=3.52$, $ddl=7$, $p<0.01$).

A Erckartswiller, 64 % des relevés ont été effectués sur des stations favorables à la myrtille et 20 % sur des stations favorables à la ronce. A Zittersheim, les proportions sont de 22 % pour la myrtille et 56 % pour la ronce. Le type stationnel est donc un facteur explicatif des recouvrements en ronce plus importants à Zittersheim, et plus importants en myrtille à Erckartswiller. Cependant, si le phénomène est assez flagrant à Erckartswiller (2/3 des relevés réalisés sur des stations favorisant la myrtille), il l'est moins à Zittersheim où la proportion de stations favorables à la ronce équivaut quasiment la proportion de stations défavorables (56 % contre 44 %). La prolifération de la ronce semble donc moins liée au type stationnel que celle de la myrtille.

Un autre facteur, déterminant pour la croissance de tous végétaux bas, est la quantité de lumière reçue (LEMEE, 1978) en partie déterminée par la stratification des peuplements forestiers (LANIER, 1986). L'Analyse des Correspondances Multiples avait associé l'absence de strates basses à Erckartswiller et l'absence de strates intermédiaires à Zittersheim. Le type de stratification a donc été considéré comme un autre facteur explicatif (en plus des stations) des recouvrements différentiels de la ronce et la myrtille. L'analyse de variance ne révèle pas de différence de recouvrements de la myrtille en relation avec le type de stratification. Par contre, la différence est significative pour la ronce

($F=11.34$, $ddl=2$, $p<0.01$) dont les recouvrements importants sont liés à la présence de strates basses et donc à l'arrivée au sol de lumière. Une analyse de variance à deux facteurs montre que la variabilité des taux de recouvrements de la ronce est plus fortement liée à la variation du type de stratification qu'à celle du type stationnel (stratification : $F=6.97$, $ddl=2$, $p<0.01$, station : $F=2.29$, $ddl=5$, $p<0.05$). Pour la croissance de la ronce, le facteur stratification, induit par la sylviculture, est plus déterminant que le facteur stationnel.

Le besoin en lumière de la ronce est plus important que celui de la myrtille qui est une espèce de demi ombre alors que la première est une espèce de lumière mais qui tolère l'ombre (RAMEAU *et al.*, 1993).

Le cas des jeunes peuplements : dans une forêt en futaie irrégulière, les jeunes peuplements, comme il en existe en futaie régulière, sont exclus puisque toutes les catégories d'âge sont regroupées dans un même peuplement. A Zittersheim nous trouvons encore quelques jeunes peuplements mais il reste peu de fourrés et les peuplements de semis n'existent plus. Comparés aux stades gaulis et perchis, les semis et fourrés présentent un recouvrement moyen en espèces appétentes trois fois plus important (39 % contre 13 %). Ainsi, il semble que l'absence de très jeunes peuplements (semis et fourrés) entraîne la perte d'une part importante du potentiel alimentaire. Le cas de la myrtille illustre bien ce phénomène.

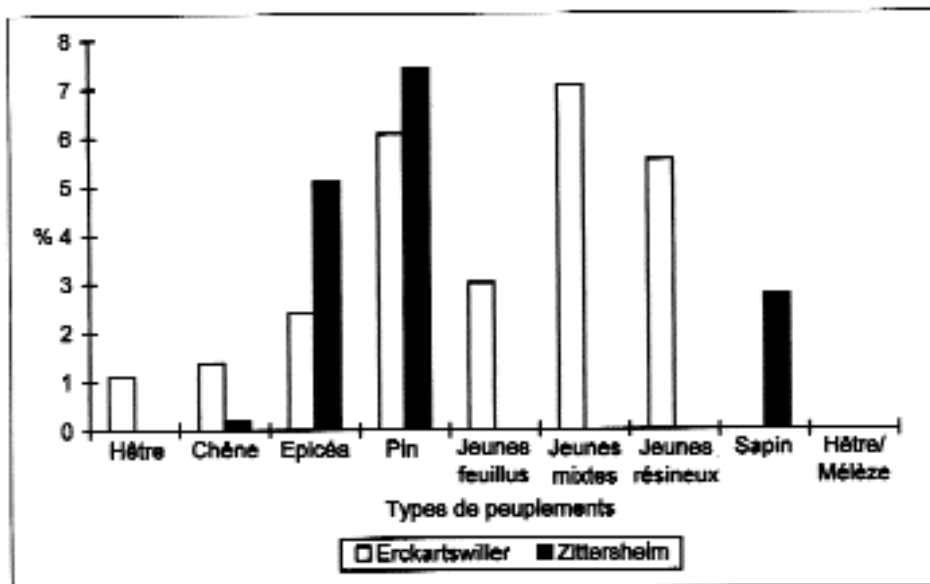


Figure 3 : Répartition de la myrtille par type de peuplements.

Le déplacement des ressources alimentaires vers les peuplements adultes : La gestion en futaie irrégulière tend à uniformiser les peuplements forestiers et les ressources alimentaires doivent par conséquent être également réparties dans chaque peuplement. La forêt de Zittersheim n'est pas encore typiquement une futaie irrégulière. Malgré cela, les recouvrements en espèces appétentes y sont

globalement supérieurs qu'à Erckartswiller. Le sapin, le framboisier et la ronce sont davantage présents à Zittersheim. Concernant la myrtille, nous obtenons le même pourcentage pour chaque forêt alors que les types stationnels propices à la myrtille sont moins représentés à Zittersheim. Cette espèce pourrait donc être favorisée par la gestion en futaie irrégulière.

	chêne	érable	sapin	framboise	myrtille	ronce
Erckartswiller	30.7%	15.4%	19.2%	27%	65%	61%
Zittersheim	38.5%	19.2%	57.7%	61%	65%	85%
test du khi ²			khi ² ≤6.4	khi ² ≤6.31		khi ² ≤4.59
significativité	NS	NS	ddl=1 p<0.02	ddl=1 p<0.02	NS	ddl=1 p<0.04

Tableau 1: Fréquences d'apparition des espèces les plus appétentes dans les peuplements adultes.

2.3. Résultats concernant les indices de présence :

2.3.1. La quantité d'indices :

Sans prendre en compte les cas particuliers (peuplements à base de sapin et mélangés hêtre/mélèze), 219 relevés ont été réalisés à Erckartswiller et 232 à Zittersheim ce qui a permis de confirmer les résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples. En effet, Zittersheim était associé à une forte fréquentation par le chevreuil et la présence du cerf était liée à Erckartswiller. L'occurrence moyenne dans les peuplements à base de sapin est de 7,9 moquettes et 0,09 fumée par relevé. Elle est de 0,9 moquette et 0,09 fumée dans les peuplements mélangés hêtre/mélèze.

2.3.2. La répartition des indices dans les peuplements forestiers :

A Erckartswiller, les moquettes sont réparties de façon homogène entre les trois catégories de peuplements alors qu'à Zittersheim, on en observe davantage dans les peuplements résineux. De même, la majorité des fumées ont été recensées dans ce type de peuplements.

Un khi² de conformité montre que les proportions d'indices trouvés dans chaque type de peuplement (distribution observée) ne correspond pas aux taux d'échantillonnage des peuplements (distribution théorique), sauf à Erckartswiller pour les moquettes.

A Zittersheim, les plus grandes quantités de moquettes ont été recensées dans les peuplements à base de sapin et d'épicéa (F=6.15, ddl=7, p<0.01). A Erckartswiller, les fumées se trouvent majoritairement dans les jeunes peuplements résineux (F=3.46, ddl=7, p<0.01). Dans cette même forêt, nous n'obtenons pas de différence significative pour la répartition des moquettes.

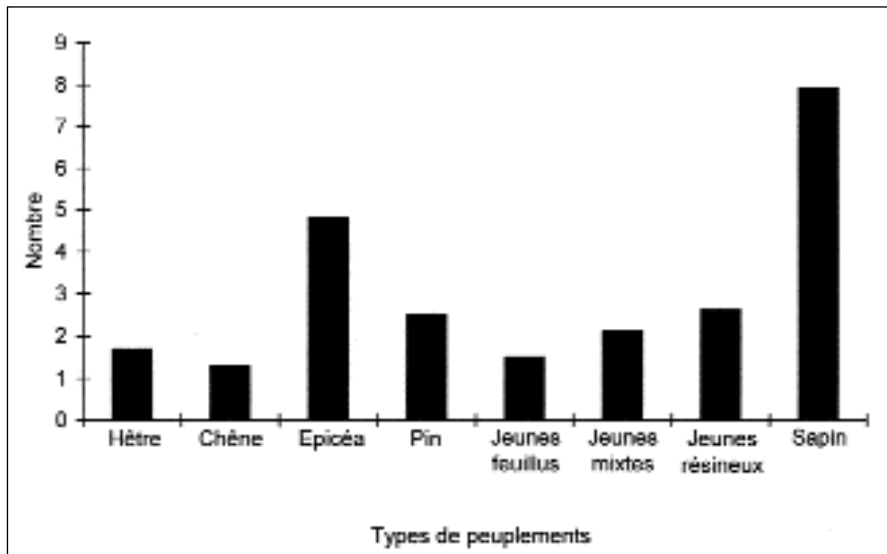


Figure 4 : Quantités de moquettes dans les différents types de peuplements à Zittersheim.

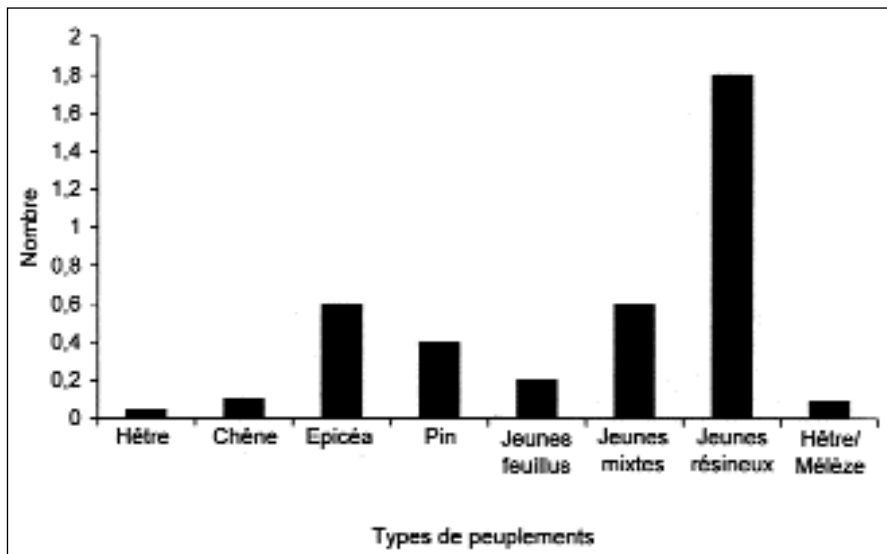


Figure 5 : Quantités de fumées dans les différents types de peuplements à Erckartswiller.

2.3.3. La valeur refuge des peuplements :

D'une manière générale, les peuplements résineux offrent la meilleure protection contre les intempéries puisqu'ils procurent un couvert toute l'année.

Dans les jeunes peuplements, les stades fourrés, gaulis et perchis constituent des peuplements très denses alors que les semis sont totalement ouverts. Les peuplements adultes peuvent également avoir une valeur refuge lorsqu'ils présentent les strates 5 et 6 (hauteur inférieure à 3 m).

Les peuplements de semis sont essentiellement présents à Erckartswiller puisque la gestion appliquée à Zittersheim exclut la pratique des coupes à blanc. Pour les deux forêts confondues et pour les trois catégories de jeunes peuplements, nous trouvons 69 % des fumées dans les semis. Les 31 % restants sont également répartis dans les fourrés, gaulis-perchis. Pour les moquettes, nous en observons 33 % dans les semis, 50 % dans les fourrés et 17 % dans les gaulis-perchis.

La fréquentation des peuplements adultes par le chevreuil varie suivant le type de stratification ($F=5.62$, $ddl=2$, $p<0.01$). Il semble préférer les peuplements présentant les strates basses. Aucune différence n'a été obtenue avec les fumées alors que plusieurs études mettent en évidence le phénomène inverse (MORELLET *et al.*, 1996 ; PROUDHON *et al.*, 1995).

Ainsi, il semble que chaque espèce fréquente préférentiellement un type de milieu. Le chevreuil recherche des milieux plutôt fermés offrant des peuplements bas tandis que le cerf affectionne des peuplements plus ouverts.

2.3.4. Valeur alimentaire des peuplements :

A Zittersheim, les disponibilités alimentaires les plus fortes se situent dans les peuplements résineux adultes. Ces derniers sont aussi largement fréquentés par le chevreuil. Il y a donc adéquation entre les potentialités alimentaires, la fréquentation et les quantités de nourriture prélevées dans les peuplements adultes à base de sapin et d'épicéa. Par contre, les jeunes peuplements mixtes et résineux sont régulièrement fréquentés alors que les disponibilités sont très faibles. A Zittersheim, le chevreuil n'utilise pas ces peuplements pour ses besoins alimentaires.

A Erckartswiller, les recouvrements importants en espèces appétentes se trouvent dans les jeunes peuplements mixtes et résineux. Les résineux sont certainement exploités par les chevreuils à la fois pour leurs valeurs alimentaire et refuge (utilisation des fourrés). Les fumées y sont majoritairement rencontrées dans les jeunes peuplements résineux alors que les jeunes peuplements mixtes présentent les mêmes recouvrements importants en espèces appétentes.

Il apparaît donc que les chevreuils à Zittersheim occupent les peuplements adultes à base de sapin et d'épicéa pour leurs ressources alimentaires et aussi certainement pour le refuge que procurent les strates basses.

A Erckartswiller, le cerf exploite les jeunes peuplements résineux dont la valeur alimentaire semble la caractéristique déterminante. Il fréquente également des milieux couverts ou denses pour répondre à son besoin de quiétude, mais apparemment, la recherche de ce type d'environnement est moins active que chez le chevreuil.

CONCLUSION

L'étude de l'interaction entre cervidés et végétation a permis d'évaluer l'impact de la gestion sur la capacité d'accueil automnale et hivernale des deux forêts. Cette étude montre que si les ressources alimentaires sont concentrées dans les plus jeunes peuplements en futaie régulière, elles se distribuent plus uniformément dans les peuplements adultes de la futaie irrégulière.

En effet, les petites trouées réalisées dans le cadre de la gestion irrégulière favorisent le développement diffus de la végétation héliophile et particulièrement de la ronce. La présence de la myrtille et du framboisier semble également favorisée par la gestion en futaie irrégulière, mais ce travail ne permet pas de définir ce phénomène en tant que conséquence sylvicole.

Ces trois espèces, et surtout la ronce, peuvent constituer un groupe d'espèces indicatrices de l'état de la forêt en terme de capacité d'accueil pour les cervidés. Etant donné leur degré d'appétence, une forêt riche de ces espèces devrait être moins sensible aux dégâts d'abrouissements sur les essences exploitées, tout particulièrement les résineux. De surcroît, la rapide prolifération de la ronce entraîne des recouvrements importants à un stade où les semis sont encore jeunes et vulnérables.

Par ailleurs la concentration des espèces appétentes dans les jeunes peuplements de la futaie régulière entraîne le regroupement des animaux, attirés par les potentialités alimentaires. Si les ressources sont réparties sur une plus grande superficie (occupée par les peuplements adultes), les cervidés seront plus dispersés et les prélèvements alimentaires sur les jeunes arbres certainement plus diffus.

Dans son état actuel et pour les peuplements étudiés, la forêt de Zittersheim est mieux adaptée aux besoins du chevreuil. En effet, la ronce constitue un élément important de son régime alimentaire et le chevreuil fréquente préférentiellement les peuplements ayant une forte densité de végétation jusqu'à une hauteur de 3 m. Dans la présente étude, cette dernière caractéristique ne détermine pas la répartition du cerf. Il exploite surtout les très jeunes peuplements ouverts où les ressources alimentaires sont concentrées, situation caractéristique des zones de régénération d'une futaie régulière.

La présence du cerf dans les jeunes peuplements, ainsi que la part des espèces ligneuses dans son alimentation hivernale font que la plus forte pression sur la flore d'Erckartswiller peut être plus facilement attribuable au cerf qu'au chevreuil. Plusieurs études ont montré que le régime alimentaire du cerf est assez souple et s'adapte aux disponibilités alimentaires de l'habitat.

Ainsi dans une forêt où les ressources sont dispersées, avec des recouvrements importants en ronce et myrtille, il est probable que l'abrouissement hivernal par le cerf soit moins orienté sur les essences exploitées par le forestier.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDOUS S.E. 1944. A deer briwse survey method. *Journal of Mammalogy* 1944 : 130-136.
- BRUCIAMACCHIE M., GRANDJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- GUIBERT B. 1997. Une nouvelle approche pour une meilleure gestion des populations de chevreuils et de leur habitat : l'indice de pression sur la flore. *Bulletin technique ONF* n° 32.
- LANIER L. 1986. Précis de sylviculture. ENGREF Nancy. 468 p.
- LEMEE G. 1978. Précis d'écologie végétale. Masson (eds.). 258 p.
- MAILLARD D. et PICARD J.F. 1987. Le régime alimentaire automnal et hivernal du chevreuil (*Capreolus capreolus*) dans une hêtraie calcicole, déterminé par analyse de contenus stomacaux. *Gibier et faune sauvage* 4 : 1-30.
- MORELLET N., GUIBERT B., KLEIN F., DEMOLIS C. 1996. Utilisation de l'habitat forestier par le cerf (*Cervus elaphus*) dans le massif d'Is-sur-Tille (Côte d'Or). *Gibier Faune Sauvage* 13 : 1477-1493.
- ONC 1983. Le cerf élaphe. *Bulletin mensuel ONC* n° 71, fiche n°58.
- ONC 1989. Le chevreuil. *Bulletin mensuel ONC* n° 139, fiche n° 58.
- PROUDHON P., GUIBERT B., KLEIN F. et DEMOLIS C. 1995. Rôles et fonctions des grands différents types de peuplements forestiers en période hivernale vis-à-vis des grands cervidés. Cas du massif forestier d'Is-sur-Tille. *Revue Forestière Française* XLVII, 2 : 137-150.
- RAMEAU J.-C., MANSION D. et DUME G. 1993. Flore forestière française. Institut pour le développement forestier (eds.). Paris. 2419 p.

Biodiversité et gestion forestière

L'exemple des Vosges du Nord

Synthèse et conclusions

générales

par Guy LANDMANN (1) et Serge MULLER (2)

(1) Département de la Santé des Forêts
19, avenue du Maine - 75732 Paris Cedex 15

(2) Laboratoire de Phytoécologie, Unité de Recherche E.B.S.E. Université
Ile du Saulcy - 57045 Metz Cedex

Résumé : L'étude pluridisciplinaire de deux forêts situées dans les Vosges du Nord et gérées, l'une selon les méthodes classiques de la futaie régulière (forêt d'Erckartswiller), l'autre depuis une vingtaine d'années selon les principes de la sylviculture dite proche de la nature (forêt de Zittersheim), est résumée et discutée. Bien que choisies moyennes et les plus comparables possibles, les deux forêts étudiées ont révélé quelques différences significatives en faveur de Zittersheim, notamment sur le plan des conditions stationnelles et de l'environnement de la forêt (étangs, zones d'habitation, etc.). Ces différences compliquent l'interprétation des résultats obtenus pour les différentes composantes de la biodiversité. Bien que la physionomie générale de la forêt de Zittersheim soit encore relativement proche de celle d'Erckartswiller, on note une proportion légèrement plus forte de peuplements stratifiés à Zittersheim et, peut-être plus nettement, un développement des strates basses (ronces, semis de sapin). Cette évolution explique en partie un certain nombre d'éléments de biodiversité plus favorables à Zittersheim (densité plus forte de l'avifaune, plus forte proportion de peuplements favorables aux cervidés). D'autres différences sont liées à des faciès forestiers absents de l'une des deux forêts (diversité avifaunistique supérieure en forêt d'Erckartswiller en raison de la présence de coupes rases). D'autres composantes sont trop influencées par des facteurs non forestiers (chiroptères) ou trop complexes à mettre en œuvre (entomofaune) pour dégager des conclusions claires. Plutôt qu'une reproduction à l'identique de l'étude (dans toutes ses composantes) à l'avenir,

il est suggéré de se concentrer sur une analyse fine de la végétation (composition, structure), qui détermine des composantes importantes de la biodiversité, et des inventaires avifaunistiques. L'évolution de la structure (risque de basculement vers des peuplements à deux strates) et de la composition (évolution des peuplements à base de pin sylvestre) des peuplements en forêt de Zittersheim mérite une attention particulière. Cette étude constitue, en particulier pour la végétation et l'avifaune, un état de référence qu'il serait intéressant de réexaminer dans 10 ou 20 ans lorsque l'évolution des peuplements recherchée dans le cadre de la sylviculture «proche de la nature» sera plus avancée.

Summary :

The multidisciplinary study of two forests situated in the Northern Vosges and managed on the one hand using the classic methods of regular plantation (forest of Erckartswiller), on the other hand for twenty or so years according to the principles of forestry referred to as back to nature (forest of Zittersheim), is summarised and discussed. Although chosen because of their adjacency and maximum comparability, the two forests studied revealed some significant differences in favour of Zittersheim, notably at the level of localised conditions and forest environment (ponds, areas of habitation, etc.). These differences complicate the interpretation of the results obtained for the different components of biodiversity. Although the general physiognomy of the forest of Zittersheim is still relatively close to that of Erckartswiller, one can note a slightly higher proportion of stratified populations in Zittersheim and, perhaps more clearly, a development of low strata (brambles, fir tree saplings). This evolution explains in part a certain number of more favourable elements of biodiversity in Zittersheim (higher density of avifauna, higher proportion of populations beneficial to the *Cervidae*). Other differences are connected to the forest facies absent from one of the two forests (greater diversity of avifauna in the forest of Erckartswiller because of clear cutting). Other components are too influenced by non-forestry factors (*Chiroptera*) or too complex to examine (entomofauna) to draw clear conclusions. Rather than an identical reproduction of the study (in all its components) in the future, it is suggested that the concentration should be on a close analysis of plantlife (composition, structure), which will determine the components important to biodiversity, and an inventory of avifauna. The evolution of the structure (risk of reduction of the populations to two strata) and the composition (evolution of populations based on the woodland pine) of the populations in the forest of Zittersheim merits particular attention. The study constitutes a point of reference, particularly for the vegetation and avifauna, which it would be interesting to re-examine in 10 or 20 years when the evolution of the populations being researched within the framework of «forest management based on natural processes» will be more advanced.

Zusammenfassung :

Die pluridisziplinäre Untersuchung der beiden Wälder in den Nordvogesen, von denen der eine nach klassischen Methoden des regelmässigen Hochwaldes (Eckartswiller Wald), und der andere seit etwa zwanzig Jahren nach den Prinzipien der sogenannten naturnahen Forstwirtschaft (Zittersheimer Wald) bewirtschaftet wird, wird zusammenfasst und besprochen. Obwohl einander angrenzende und

möglichst vergleichbare Wälder gewählt wurden, ergab die Untersuchung einige signifikante Unterschiede zugunsten von Zittersheim, namentlich Standorts- und Forstumweltbedingungen betreffend (Teiche, bewohnte Zonen usw.). Diese Unterschiede erschweren die Interpretation der verschiedenen Komponenten der Biodiversität. Obwohl das allgemeine Aussehen des Zittersheimer Waldes dem von Erckartswiller ziemlich ähnelt, beobachtet man doch einen leicht höheren Anteil streifenweisen Baumbestandes in Zittersheim, und vielleicht noch deutlicher eine Entwicklung der unteren Straten (Brombeerranken, Fichtensämlinge). Diese Entwicklung erklärt zum Teil eine gewisse Anzahl günstigerer Elemente der Biodiversität in Zittersheim (grössere Dichte der Vögel, grösserer Anteil von für Hirsche günstigen Beständen). Andere Unterschiede sind mit fehlenden Forstfzatten in einem der beiden Wälder verbunden (höhere Diversität der Vögel im Erckartswiller Wald aufgrund von Kahlschlägen). Andere Komponenten werden zu sehr von waldunabhängigen Faktoren beeinflusst (Fledermäusen) oder solchen, die zu schwer zu berücksichtigen sind (Insekten), um klare Schlussfolgerungen zu ziehen. Anstatt die (in allen Komponenten) gleiche Studie genauso zu wiederholen wird empfohlen, in Zukunft sich auf eine genau Analyse der Vegetation (Zusammensetzung, Struktur), die die wichtigen Komponenten der Biodiversität bestimmt, und auf Inventare der Vögel zu konzentrieren. Die Evolution der Struktur (Gefahr eines Kippens in zweischichtige Straten) und der Zusammensetzung (Entwicklung der von der Gemeinen Föhre bestimmten Populationen) der Bestände im Zittersheimer Wald verdienen besondere Aufmerksamkeit. Diese Studie hat insbesondere für die Vegetation und die Vögel Bezugswert. Es wäre interessant, diese Bezugswerte in 10 oder 20 Jahren erneut zu untersuchen, wenn sich die Bestände im Rahmen der sogenannten «naturnahen» Forstwirtschaft, wie gewünscht weiterentwickelt haben.

Mots-clés : biodiversité, sylviculture, futaie régulière, futaie irrégulière, composition floristique, avifaune, chiroptère, cervidés, entomofaune.

1. OBJECTIF ET DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

L'objectif principal de cette étude pluri-disciplinaire était d'évaluer l'impact de deux modes de sylviculture sur la biodiversité de deux massifs forestiers choisis dans des conditions aussi comparables que possible au sein du Parc naturel régional des Vosges du Nord. La forêt d'Erckartswiller, qui fait partie de la première «série» (unité de gestion) de la forêt domaniale de La Petite-Pierre est gérée par l'Office National des Forêts selon les principes de la futaie régulière. La forêt de Zittersheim, appartenant au groupement forestier de Villefranche, est gérée par un expert forestier, Monsieur Brice de Turckheim, selon les principes de la sylviculture dite «proche de la nature», dont le trait dominant est la recherche d'une «futaie irrégulière par bouquets mélangés et successifs» (les caractéristiques fondamentales des deux sylvicultures sont rappelées plus loin).

L'étude s'est déroulée en deux phases successives :

- i) une cartographie des peuplements des deux forêts, et
- ii) l'évaluation de quelques indicateurs de diversité (végétation, avifaune, entomofaune, chiroptères, cervidés).

La synthèse de ce travail aborde successivement :

- i) l'analyse de la comparabilité des deux forêts étudiées et de l'influence de la sylviculture sur la structure actuelle des peuplements - deux éléments qui conditionnent fortement les possibilités de répondre à la question posée dans ce travail- ,
- ii) les résultats obtenus pour les différentes composantes de la biodiversité étudiées, et
- iii) quelques réflexions sur l'intérêt de ce type d'approche et les suites éventuelles à donner à cette étude.

2. COMPARABILITÉ DES DEUX FORÊTS ÉTUDIÉES

Bien que choisies de façon à présenter des conditions de milieu aussi similaires que possible, les deux forêts choisies (qui se jouxtent) présentent des différences :

- les conditions stationnelles sont nettement plus favorables à Zittersheim (fréquence moindre des stations les plus acidiphiles) qu'à Erckartswiller, ce qui a notamment une incidence favorable sur la diversité de la flore vasculaire, sur la disponibilité en nourriture des cervidés (ronce), etc. Ces différences stationnelles expliquent en partie les différences de répartition des essences, avec par exemple une plus forte proportion de pin sylvestre en forêt d'Erckartswiller (stations les plus acidiphiles) et une plus grande fréquence de sapinières en forêt de Zittersheim, ou encore la présence de formations particulières dans l'une des deux forêts (aulnaies à Zittersheim) ;
- on note un nombre plus important d'étangs, de marécages et de zones d'habitations près de la forêt de Zittersheim (incidence favorable sur les chiroptères notamment) ainsi que, pour cette forêt, un réseau hydrographique plus dense (incidence sur la végétation) ;
- une histoire cynégétique différente, avec la proximité de l'ancienne réserve de chasse de La Petite-Pierre pour Erckartswiller (présence du cerf uniquement dans cette forêt).

Ces différences gênent l'interprétation des résultats obtenus pour les différentes composantes de la biodiversité sans qu'il soit toujours aisé de quantifier précisément leur impact. Les différences jouent le plus souvent en faveur de la forêt de Zittersheim (conditions stationnelles, environnement de la forêt), donc dans le même sens que l'influence présumée de la sylviculture «proche de la nature».

3. INFLUENCE DES DEUX TYPES DE GESTION FORESTIERE SUR LA STRUCTURE ACTUELLE DES PEUPEMENTS

La sylviculture régulière est fondamentalement une sylviculture de peuplements, mais la méthode d'aménagement choisie, dite du «groupe élargi», permet une certaine souplesse dans le choix des âges d'exploitabilité et dans celui des surfaces régénérées d'un seul tenant. Le caractère parfois progressif de la récolte sur certaines parcelles peut conduire à des structures localement irrégulières. La surface des unités élémentaires de gestion est localement réduite par découpage en sous-parcelles.

La sylviculture «proche de la nature» est fondamentalement une sylviculture d'arbres, le gestionnaire privilégiant en tout point les essences qu'il juge les plus aptes à tirer profit des conditions de station et d'éclaircissement. La gestion de la valeur individuelle des tiges a comme résultat de favoriser un mélange intime des essences.

Vingt ans après l'instauration d'un mode de sylviculture différent des forêts environnantes, la forêt de Zittersheim a globalement une physionomie assez comparable à celle de la forêt d'Erckartswiller du point de vue des modalités de mélange, avec de l'ordre de 40 % de peuplements monospécifiques dans les deux forêts, et des structures de peuplement dominantes : les structures fermées et peu stratifiées représentent respectivement environ 50 % et 65 % des peuplements à Zittersheim et Erckartswiller.

Plusieurs des approches mises en œuvre (études des peuplements forestiers, de la végétation vasculaire, des ressources alimentaires pour les cervidés) concluent à une proportion légèrement supérieure de peuplements stratifiés, fermés ou ouverts à Zittersheim, et, peut-être plus nettement, à un développement plus fort des strates basses (ronce, semis naturels de sapin) dans cette même forêt. Un résultat qui va dans le même sens est que la taille des houppiers paraît plus importante pour le sapin, le hêtre et l'épicéa notamment, en forêt de Zittersheim (phase de préchantillonnage de la typologie des peuplements). Ces différences sont cohérentes avec le but affiché du sylviculteur dans cette forêt depuis une vingtaine d'années. Des analyses complémentaires seraient toutefois nécessaires pour s'assurer que ces différences résultent bien majoritairement de l'impact des décisions sylvicoles prises depuis 20 ans.

Une différence entre les deux forêts réside en la présence, en forêt d'Erckartswiller de coupes rases (où elles concernent environ 2 % des points cartographiés) et de peuplements au stade semis (issus de coupes de régénération). Ces formations expliquent la présence de certaines espèces, notamment d'oiseaux, spécifiques aux milieux ouverts. La pratique de la coupe rase est toutefois liée en partie aux conditions de stations et aux essences considérées : elle se rencontre surtout dans les stations les plus acidiphiles occupées majoritairement par le pin sylvestre.

Enfin, quelques différences sont notées en ce qui concerne le bois mort : globalement plus fréquents à Erckartswiller qu'à Zittersheim (respectivement 75 % et 60 % des points de sondage), ils sont mieux répartis localement (branchages dispersés) à Zittersheim, ce qui semble correspondre à une pratique différente ; les bois morts sur pied sont peu nombreux dans les deux cas alors que les troncs décomposés (pour partie anciens et correspondant peut-être à des coupes, notamment sanitaires, moins fréquentes) sont plus nombreux à Zittersheim.

4. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS ET LIMITES DES DIFFÉRENTES COMPOSANTES DE L'ÉTUDE

Les principaux apports de cette étude sont résumés pour les différentes approches mises en œuvre.

4.1. Typologie et cartographie des peuplements (BRUCIAMACCHIE *et al.*, 1999)

La typologie des peuplements est basée sur un échantillon de placettes circulaires de 20 à 30 arbres (supérieurs à un certain diamètre) dont la taille varie en fonction de la densité du peuplement. Cet échantillon a été choisi de façon à couvrir au mieux la variabilité des peuplements rencontrés. Divers paramètres descriptifs du peuplement (données dendrométriques, composition en essences, stratification de la végétation, etc.) et des stations (types de sol et d'humus, composition de la strate herbacée), auxquels il faut rajouter une description du bois mort, ont été relevés.

Au total, 114 placettes ont été réparties sur les trois forêts de Zittersheim, d'Erckartswiller et de Wingen-sur-Moder (il était initialement prévu d'étudier cette dernière forêt en plus des deux forêts retenues). La typologie proprement dite a été établie par une analyse multivariée (analyse factorielle de correspondances et classification ascendante hiérarchique) de façon à refléter trois ensembles de variables : composition, structure en diamètre et structure verticale. Certaines difficultés sont cependant apparues en raison des relations entre structure verticale et distribution des diamètres, faisant préférer une typologie basée sur la composition en essences et une distribution en surface terrière, la structure verticale constituant un paramètre relevé séparément.

La typologie (8 groupes principaux, 48 types) a permis d'élaborer des clés de détermination pour la phase de cartographie, réalisée au quart d'hectare dans les deux forêts étudiées (soit près de 900 hectares). Cette démarche a permis une appréhension globale des forêts étudiées et l'identification des caractéristiques sylvicoles (voir ci-dessus, la comparaison des stations et des peuplements dans les deux forêts), une caractérisation des types stationnels, et a offert une base d'échantillonnage pour les autres approches.

Il y a une limitation évidente à l'idée d'articulation d'ensemble entre cette phase du projet et l'étude des différentes composantes de la biodiversité : la typologie retenue ne peut être pertinente pour toutes les composantes de la biodiversité étudiées dans les phases ultérieures de l'étude, et dont la répartition peut être dictée surtout par des aspects particuliers des peuplements (notamment les strates basses).

4.2. Analyse de la flore (BAILLY, 1999)

Une analyse détaillée de la flore (végétaux vasculaires et bryophytes) a été conduite sur la base de 100 placettes de 400 m² (50 dans chaque massif). L'indice de Shannon-Weaver a été utilisé pour étudier les relations entre les peuplements (les formations dominantes peuvent se classer en quatre catégories : les structures à base de pin, les structures à base de chêne sessile, les hêtraies et les pessières) et la végétation forestière.

Cette approche a permis de séparer ce qui, dans les variations de diversité observées entre peuplements, était imputable aux variations stationnelles et aux variations de structure des peuplements (stratification, ouverture). Ces dernières apparaissent globalement comme très importantes, tout particulièrement pour les hêtraies et les pessières, opposant - classiquement - les formations jeunes et serrées, de diversité très faible, aux formations plus âgées et montrant divers degrés d'ouverture permettant un éclaircissement (et donc le développement) plus ou moins important des strates basses. Les relations entre la strate herbacée-muscinale et les peuplements ligneux sont de nature à la fois directement fonctionnelle (degré d'ouverture du peuplement, type de litière produite) et stationnelle (groupes indicateurs des stations, indépendamment des essences actuellement en place). Les types de peuplements ne sont cependant pas indépendants des conditions stationnelles, et seule une analyse très soignée permet de distinguer un effet réellement sylvicole d'un effet lié aux différences stationnelles entre les deux forêts.

Les indices calculés doivent également être analysés avec un certain recul car :

- une formation diversifiée peut avoir une valeur patrimoniale faible (cas des coupes forestières étendues dominées par la végétation héliophile), et inversement ;
- certaines formations sont diversifiées en raison de l'influence d'essences exotiques (sous-étage de douglas sous pin et mélèze) ;
- les indices de biodiversité définis ponctuellement ne peuvent rendre compte simplement de la valeur fonctionnelle des phytocénoses au sein d'ensembles plus larges (éco-complexes) ;
- sur un plan méthodologique, l'utilisation de l'indice de Shannon dans des milieux aussi pauvres en espèces que ceux étudiés dans les Vosges du Nord pose quelques problèmes ; comme le souligne l'auteur de l'étude, cet indice reflète plus le nombre de strates et leurs recouvrements respectifs que leur composition

(une même espèce présente dans plusieurs strates concourt à fournir un indice élevé), et peut conduire à des aberrations dans certains cas en ce qui concerne la contribution des strates inférieures.

4.3. Inventaire de l'avifaune (MULLER, 1999)

Un inventaire de l'avifaune a été conduit dans les forêts de Zittersheim, d'Erckartswiller et de Wingen-sur-Moder selon des méthodologies éprouvées et déjà largement utilisées par l'auteur dans les mêmes contextes forestiers des Vosges du Nord : les Indices Ponctuels d'Abondance -I.P.A.- reposant sur deux comptages partiels, l'un en début de saison de reproduction et le second lorsque toutes les espèces migratrices sont de retour, et le recensement par cartographie des territoires. Respectivement 38, 33 et 26 I.P.A. ont été réalisés dans les forêts de Zittersheim, d'Erckartswiller et de Wingen-sur-Moder, et 12 espèces ont fait l'objet de dénombrement par cartographie des territoires.

Au total, 46 espèces ont été rencontrées dans l'ensemble des trois forêts, ce qui représente une diversité typique de ces milieux forestiers. Sur ces 46 espèces, 18 sont accidentelles. Au niveau des oiseaux nicheurs, les trois forêts sont sensiblement habitées par les mêmes oiseaux. Deux différences apparaissent néanmoins : globalement, l'avifaune est plus riche en espèces en forêt d'Erckartswiller en raison de la présence d'oiseaux de milieux buissonnants et/ou de milieux semi-ouverts dans les jeunes peuplements (d'où notamment la présence du Torcol fourmilier, de la Pie-grièche écorcheur, du Pipit des arbres et du Bruant jaune), et ponctuellement l'avifaune est légèrement plus riche en forêt de Zittersheim qu'en forêt de Wingen-sur-Moder et d'Erckartswiller (respectivement 17, 16 et 15,5 espèces contactées en moyenne par I.P.A.). En terme de densité des espèces nicheuses non accidentelles (28 espèces), les densités sont plus élevées en forêt de Zittersheim pour 19 espèces inféodées aux vieux peuplements (différences statistiquement significatives pour la Fauvette à tête noire, les Grives musicienne et draine, la Sittelle torchepot et le Troglodyte mignon) et plus élevées en forêts d'Erckartswiller et Wingen-sur-Moder (considérées ensemble) pour 9 espèces des milieux plus ouverts, buissonnants ou clairiérés (différences statistiquement significatives pour la Tourterelle des bois, le Coucou gris et le Pouillot fitis). Les valeurs légèrement plus élevées observées pour la richesse ponctuelle et l'abondance de l'avifaune (8 % dans les deux cas) en forêt de Zittersheim semblent refléter les différences entre les physionomies générales des deux forêts. Il faudrait toutefois vérifier le poids relatif des différences de structure des peuplements (plus marquées pour les strates basses) et de la présence de vieux bois à cavités dans ces différences. En effet, si cette dernière augmente avec l'âge des peuplements, elle varie également fortement en fonction des pratiques (maintien d'arbres morts, de préservation d'îlots de vieillissement, etc.) indépendantes du choix d'un type de sylviculture.

Enfin, si on considère l'avifaune dans son ensemble, il faut réfléchir au rôle des espaces forestiers ouverts. Les milieux temporairement ouverts anciennement créés par les catastrophes naturelles (incendies, grands chablis et mortalités liées aux ravageurs) n'existant plus, ce sont des espaces surtout situés hors forêt, dans des milieux anthropisés, et pour partie en forêt, dans des coupes de

régénération ou des clairières, qui hébergent les espèces des espaces ouverts. Comme pour la flore vasculaire se pose la question de la taille minimale d'espaces ouverts dans le cadre de la «futaie irrégulière par bouquets mélangés et successifs», si ce mode de sylviculture devait être étendu.

4.4. Étude des chiroptères (DUCHAMP *et al.*, 1999)

Un inventaire des chiroptères a été mené dans les deux forêts étudiées à l'aide de la technique par identification acoustique utilisée le long de parcours standards, les autres techniques envisageables (capture au filet, recherche d'indices de présence, pause de nichoirs) étant trop aléatoires ou consommatrices en temps.

Au total 7 espèces, toutes communes dans la région (dans laquelle plusieurs études antérieures ont été conduites), ont été identifiées en forêt de Zittersheim : la Pipistrelle commune, la Sérotine commune, la Noctule commune, le Vespertilion de Daubenton, l'Oreillard, la Noctule de Leisler et le Grand Murin. En forêt d'Erckartswiller, seules les trois premières espèces ont été rencontrées. Les rencontres (comparaisons des indices kilométriques d'abondance) sont nettement plus élevées en forêt de Zittersheim.

La raison principale des différences observées entre les deux massifs semble être la mosaïque de milieux rencontrée à Zittersheim : présence d'étangs, proximité de zones d'habitations et de résidences secondaires). On note également l'absence de chauve-souris dans les peuplements jeunes (fourrés, gaulis) fermés et de grande surface, actuellement plus nombreux en forêt d'Erckartswiller. Des précisions sur l'intérêt des espaces ouverts (coupes de régénération) et de diverses structures en peuplements adultes ou âgés (ouverture, structuration verticale) devraient cependant être apportées pour juger de l'intérêt théorique des modes de sylviculture adoptés dans les deux massifs étudiés, tout en ne perdant pas de vue que la prospérité des populations de chiroptères n'est sans doute que faiblement voire marginalement liée à la physionomie des peuplements forestiers.

4.5. Utilisation des deux forêts par les cervidés (KLEIN *et al.*, 1999)

Cette étude a été conduite sur deux saisons (1995/96 et 1996/97). La première année a été consacrée à l'étude de la répartition des animaux et de la végétation sur l'ensemble des deux forêts étudiées selon des maillages systématiques de 170 m et 180 m conduisant respectivement à 166 placettes en forêt Erckartswiller et 158 placettes en forêt de Zittersheim. La seconde année a été consacrée à l'étude des types de peuplements les mieux répandus dans les deux forêts, également selon un maillage systématique, de 130 m dans ce cas, conduisant à 230 relevés en forêt Erckartswiller et 253 placettes en forêt de Zittersheim. L'inventaire de la végétation a été fait selon une méthode précisant le recouvrement des strates basses de végétation (jusqu'à 1,20 m) sur des petites placettes (40 m²) et les taux d'abroussissement de chaque espèce végétale selon 6 classes.

Les espèces les plus appétentes dans ces forêts sont la ronce, la framboise et la myrtille (respectivement 67 %, 61 % et 40 % d'abrouissement moyen - masse abrouitie relativement au recouvrement des espèces), suivies par trois espèces ligneuses, le sapin, l'érable et le chêne (environ 20 % de taux d'abrouissement), le hêtre, l'épicéa et le pin étant nettement moins appétents.

Pour des raisons historiques (proximité d'une ancienne réserve de chasse), le cerf est principalement présent en forêt d'Erckartswiller alors que le chevreuil est présent dans les deux forêts, mais de façon plus abondante en forêt de Zittersheim. A ce facteur historique se rajoute la présence de semis et fourrés (à fort potentiel alimentaire) uniquement en forêt d'Erckartswiller, où ces formations sont prioritairement exploitées par les cerfs.

Les conditions stationnelles expliquent en partie la forte présence de la ronce à Zittersheim, où elle représente 60% des masses abrouities contre 33% en forêt Erckartswiller (où la myrtille en représente 36%). L'analyse de la disponibilité alimentaire en fonction des types de peuplements suggère que si la présence de la ronce est liée aux conditions stationnelles, son développement pourrait être en partie dû à l'arrivée de la lumière au sol dans une plus grande proportion de peuplements à Zittersheim (peuplements adultes en cours de régénération, sans strates intermédiaires) qu'à Erckartswiller. Cela signifierait que les conditions actuelles sont favorables à la nutrition des chevreuils dans les peuplements considérés. La très forte présence de semis de sapin dans les strates basses des peuplements adultes de Zittersheim pose cependant des questions sur la pérennité de cette situation.

La présence en proportions très différentes de deux cervidés qui diffèrent non seulement par leur comportement alimentaire, mais plus généralement par leur éthologie, complique l'analyse des résultats des observations sur l'utilisation de la ressource relativement à la structure des peuplements.

4.6. Inventaires entomologiques (FOUILLET, 1999)

Les groupes choisis comportent :

- i) les papillons nocturnes, couramment étudiés car, essentiellement phytophages, ils sont très liés à la diversité botanique des différentes strates (arborées, herbacées, lichéniques et muscinales),
- ii) les insectes saproxylophages, liés à la nécromasse, et
- iii) les carabidés, prédateurs qui reflètent les caractéristiques générales du milieu.

La stratégie d'échantillonnage poursuivie a consisté à rechercher des couples de peuplements (un dans chaque forêt) de même composition spécifique et situés dans des conditions stationnelles identiques, c'est-à-dire en principe seulement différents par leur structure (reflet de la sylviculture). Cette stratégie, basée sur la typologie des peuplements forestiers, a montré la limite de cette dernière vis-à-vis de l'entomofaune ; en effet, les couples pressentis étaient souvent très différents sur le plan du sous-étage, strate primordiale pour la diversité des

strates végétales les plus basses et leur cortège entomologique. Les couples finalement retenus sont deux futaies de hêtre, deux futaies de chêne, deux pinèdes et deux pessières. Pour les jeunes stades, des parcelles homogènes de grande superficie de fourrés et de gaulis de hêtres (Erckartswiller) ont été comparés avec une zone de régénération (trouée de petite taille) dans une futaie de hêtres entourée d'autres peuplements (Zittersheim).

Les méthodes d'inventaire mises en œuvre sont classiques pour ce type d'études : les pièges lumineux pour les papillons de nuit, les pièges au sol pour les coléoptères circulants au sol et les pièges attractifs (à base d'éthanol) pour les saproxylophages. Chacune de ces méthodes a posé des difficultés ; on peut citer un taux d'indétermination élevé pour les pièges lumineux (insectes méconnaissables en raison des conditions de stockage dans le bocal de réception) et un succès médiocre pour les pièges attractifs en raison des températures ambiantes trop faibles.

Les résultats obtenus pour les papillons nocturnes montrent pour les différents couples de peuplements des captures généralement plus importantes en forêt de Zittersheim et des nombres d'espèces plus élevés dans cette forêt (de 15 à 49 espèces selon les couples). Globalement, cependant, le nombre d'espèces n'est que peu différent (205 espèces à Zittersheim et 196 à Erckartswiller), chiffres relativement plus faibles que ceux trouvés dans des études similaires effectuées dans le Nord-Est de la France (peut-être pour des raisons d'ordre méthodologique). Alors que la base de l'échantillonnage est l'espèce ligneuse constituant le peuplement dominant (couples d'une même espèce), il est intéressant de noter que les insectes dominants ne sont souvent pas liés à l'essence dominante, que les espèces d'insectes inféodés à une essence ligneuse particulière sont dans tous les cas très peu nombreuses, et que les espèces localisées dans une station donnée ont parfois pu être rapprochées d'un hôte particulier de la végétation au sol. La raison de la supériorité des parcelles forestières étudiées à Zittersheim en terme de nombre d'espèces et de densité est, selon l'auteur de l'étude, à chercher dans la plus grande diversité de plantes-hôtes en futaie irrégulière. Toutefois, l'absence d'une description très détaillée des différentes strates de végétation (composition, stratification verticale) et l'absence de répétitions des dispositifs d'étude (un seul couple par espèce ligneuse dominante) ne permettent pas de conclure de façon certaine.

A l'opposé, les résultats obtenus pour les coléoptères carabiques sont très proches pour les deux forêts. Les espèces forestières les moins communes et les plus caractéristiques sont liées aux zones de vieilles futaies où l'exploitation laisse un sous-bois plus riche et plus varié, avec plus de bois morts, ces derniers étant relativement peu nombreux dans les deux forêts. La diversité carabique paraît dès lors moins liée à un mode de sylviculture donné, au sens de futaie irrégulière ou régulière, qu'à la gestion des habitats spécifiques de ces insectes. Cette étude confirme le fait que la lourdeur et la complexité des inventaires entomologiques (choix des familles étudiées, choix et maîtrise des méthodologies de captures, etc.) sont telles que ces inventaires ne peuvent pas aisément être appliqués à la comparaison globale de deux massifs forestiers différents. Les résultats obtenus

sont cohérents avec des faits bien connus (rôle des espèces végétales hôtes pour les insectes phytophages, de la nécromasse pour les saproxylophages, et de façon générale, des zones ouvertes telles les clairières, les peuplements clairs à couvert discontinu et des lisières) sans toutefois apporter des relations quantitatives fiables. Pour des comparaisons du type de celles poursuivies dans cette étude, on pourrait même arguer qu'une approche détaillée de la végétation, de la nécromasse et des microbiotopes suffirait pour préjuger de l'intérêt des zones en question pour l'entomofaune.

5. INTÉRÊTS ET LIMITES DE L'APPROCHE MISE EN ŒUVRE DANS LE CONTEXTE PLUS GÉNÉRAL DE LA RÉFLEXION SUR L'INFLUENCE DE LA SYLVICULTURE SUR LA BIODIVERSITÉ

Comme un certain nombre d'études récentes sur l'influence de la gestion sylvicole sur la biodiversité, cette étude s'est heurtée à des difficultés d'ordre méthodologique parfois importantes, qui diminuent la qualité des données acquises (aspect documentaire) et interdisent parfois des conclusions nettes par rapport à la question posée. Pour partie les résultats apparaissent triviaux, par exemple le fait que la diversité des peuplements étagés est plus importante que celles de peuplements jeunes et fermés est connu. Ces considérations suggèrent qu'il y a sans doute lieu de mettre l'accent davantage sur «l'amont» et «l'aval» de l'approche considérée ici.

En amont, c'est la question du déterminisme de la biodiversité ou de la réversibilité des effets négatifs supposés induits à telle ou telle mode de gestion qui est posée. Quelle type de biodiversité a réellement disparu, définitivement ou transitoirement des forêts considérées en raison de la sylviculture appliquée depuis quelques décennies ? C'est dans ce sens que doivent être discutées des questions telles que par exemple la «nocivité» supposée des coupes à blanc sur le plan de la conservation des espèces (certaines espèces végétales subissent-elles des préjudices irréversibles en raison de leur mode de reproduction ?), ceci en dehors d'autres considérations environnementales (protection des sols et des eaux notamment). L'objectif doit-il être la recherche de la biodiversité en tout point ou sinon, quelle est l'échelle pertinente ?

En aval, la question de l'évolution future des peuplements est cruciale, d'autant que l'histoire forestière a montré que les évolutions constatées sur le terrain ne coïncidaient pas nécessairement avec les objectifs sylvicoles poursuivis. Il convient aujourd'hui de mettre en œuvre les méthodes (suivis de terrain, modélisation) qui permettront de traiter ces questions. Parallèlement la gestion du bois mort, qui constitue un aspect plus particulièrement important pour l'entomofaune mérite une attention particulière.

6. LES SUITES ENVISAGEABLES DE CETTE ÉTUDE

En raison des difficultés évoquées ci-dessus (comparabilité limitée des deux forêts, méthodologies insuffisamment éprouvées pour certaines approches), la répétition ultérieure à l'identique de cette étude, avec ses différentes composantes, ne peut être recommandée.

Lorsque les résultats disponibles sont peu nombreux (chiroptères en forêt, exploitation des couverts forestiers par les cervidés) ou qu'ils ont montré une très grande complexité (cas de l'entomofaune), il paraît préférable d'étudier d'abord des milieux qui s'y prêtent bien en prenant toutes les précautions méthodologiques. La répétition ultérieure de la description des peuplements en utilisant la méthode utilisée dans cette étude peut se justifier, à condition toutefois que sa fiabilité et sa reproductibilité (le cas échéant par des acteurs différents) soit acquise. La biodiversité végétale pourrait se fonder sur la même méthodologie utilisée (indice de Shannon) ou sur une approche descriptive plus simple. Les inventaires de l'avifaune semblent également suffisamment standardisés et sensibles aux modifications de l'environnement forestier à l'échelle du peuplement et du massif forestier pour justifier une répétition à l'identique ultérieurement.

Quelle que soit la méthodologie retenue, un suivi des deux forêts étudiées présente un intérêt évident : si la gestion en futaie irrégulière n'a globalement transformé que faiblement encore la forêt de Zittersheim, une évolution semble enclenchée puisque la composition des sous-étages des placettes de cette forêt suggère une transformation des pineraies et des pineraies-chênaies en direction de chênaies-hêtraies, de pessières-hêtraies ou encore de douglasaies-hêtraies.

C'est donc la double question de la pérennisation des formations héliophiles et de l'évolution interne des peuplements déjà dominés par l'épicéa, le douglas ou le hêtre, en fonction d'unités de renouvellement de taille variable (bouquets, parquets, etc.), qui est posée.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le contexte des Vosges du Nord, l'étude comparée des forêts de Zittersheim, gérée depuis une vingtaine d'années selon le principe de la sylviculture «proche de la nature», et d'Erckartswiller, traitée en futaie régulière, conduit aux conclusions suivantes :

- L'analyse détaillée des deux forêts, choisies pour leur proximité et la comparabilité apparente des conditions de milieu, a révélé des différences relativement importantes : le milieu est globalement plus riche en forêt de

Zittersheim. Aux différences internes aux forêts s'ajoutent des différences quant à leur environnement, qui vont dans le même sens puisque l'on observe une mosaïque de milieux (étangs, marécages, milieux habités) plus riche à Zittersheim. L'analyse des données acquises n'a pas toujours permis de distinguer clairement ce qui relève de ces différences et des modifications du milieu forestier créées par le sylviculteur.

- La principale différence entre les deux forêts imputable à un changement causé par la sylviculture «proche de la nature» semble liée à l'arrivée de lumière au sol dans un certain nombre de peuplements de Zittersheim, ce qui se traduit par un développement de la végétation au sol. Dans l'état actuel, cette situation est favorable à certaines composantes de la biodiversité. Toutefois des questions intéressantes se posent à moyen terme : si l'évolution des peuplements composés en partie d'essences héliophiles à Zittersheim vers des peuplements dominés par le sapin, l'épicéa et le hêtre s'avérait irréversible et souhaitée par le sylviculteur au motif que ces essences sont bien adaptées aux stations (ce qui est vrai à court terme, pas nécessairement à long terme si le sylviculteur recherche des peuplements longévifs), quel serait l'impact en terme de biodiversité ? La sylviculture actuelle permettra-t-elle de créer une réelle stratification dans les peuplements (sans strates intermédiaires à l'heure actuelle) dominés par ces essences à Zittersheim ?

- La question sous-jacente de la «supériorité» éventuelle, en terme de biodiversité, de l'un ou l'autre des deux modes de gestion ne pourra trouver une réponse satisfaisante que s'il y a un consensus sur la signification à donner aux variations établies (augmentation de la densité des espèces courantes) ou potentielles (réapparition d'espèces provisoirement disparues en raison des conditions de milieu). Cette étude ne peut fournir les réponses à ces questions. En outre, il paraît difficile de conclure sans resituer les forêts dans leur environnement (biodiversité à l'échelle du paysage).

- Les considérations suivantes peuvent permettre d'orienter les suites à donner à cette étude :

- i) une évaluation approfondie des résultats acquis permettrait peut-être de lever une partie des difficultés d'interprétation rencontrées (liées notamment aux différences entre les deux forêts),

- ii) les difficultés méthodologiques et la lourdeur inhérente à certaines approches (notamment l'étude de l'entomofaune) ne permettent pas de recommander, pour ces paramètres, une reproduction à l'identique de cette étude,

- iii) la connaissance du déterminisme de la répartition de certaines composantes de la biodiversité est sans doute suffisante pour envisager une démarche principalement axée sur une description rigoureuse de la végétation, complétée par une analyse de l'avifaune,

- iv) pour ces deux paramètres, la présente étude constitue un état de référence qu'il serait intéressant de réexaminer dans 10 ou 20 ans lorsque

l'évolution des peuplements recherchée dans le cadre de la sylviculture «proche de la nature» sera plus avancée (le vieillissement en futaie régulière étant, le cas échéant, limité à des îlots désignés).

Ces considérations ne remettent pas en cause l'intérêt de la préservation des microhabitats tels les milieux humides ou très secs, et une gestion favorisant une plus grande présence qu'à l'heure actuelle dans les forêts des Vosges du Nord d'arbres secs et, plus généralement, de nécromasse.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILLY B. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : peuplements et biodiversité végétale. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 37-53.
- BRUCIAMACCHIE M., GRANJEAN G., BEDEL F. et PIERRAT R. 1999. Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 7-34.
- DUCHAMP L., SCHNEIDER J.-F. et HAMON B. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des chauves-souris. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 93-101.
- FOUILLET P. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'entomofaune. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 55-74.
- KLEIN F., HEUZE P. et BROSSIER P. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des forêts en tant qu'habitat des cervidés. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 103-117.
- MULLER Y. 1999. Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'avifaune. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 7 : 79-91.

Étude des populations de micromammifères de différents habitats de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord

par Tatsiana BAHUTSKAYA

Berezinsky Biosphere Reserve, 211188 Domzheritsy, Lepel District, Vitebsk Region,
Belarus

Résumé : Au cours de l'été 1998, un recensement de micromammifères a été mené sur le territoire de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. Ce travail se situe dans le cadre de la coopération scientifique entre les Réserves de Biosphère des Vosges du Nord (France) et de Berezinsky (Belarus). Des recensements à l'aide de pièges ont été réalisés dans 9 habitats différents de la Réserve de Biosphère. L'examen des pelotes de 4 espèces de rapaces nocturnes a permis de compléter la liste des micromammifères. Cette étude a mis en évidence la présence de 20 espèces de micromammifères.

Summary : During the course of the summer of 1998, a census of micromammals was conducted on the territory of the Northern Vosges Biosphere Reserve. This work was carried out within the framework of scientific cooperation between Northern Vosges Biosphere Reserve (France) and Berezinsky Biosphere Reserve (Belarus). Trapping series and census were conducted in 9 different habitats of the Biosphere Reserve.

The examination of the pellets of 4 owls species allowed the completion of the list of micromammals.

The study showed the presence of 20 species of micromammals.

Zusammenfassung : Im Sommer 1998 wurde eine Bestandsaufnahme der Mikro-Säugetiere auf dem Gebiet des Biosphärenreservates der Nordvogesen durchgeführt. Die Arbeit fiel in den Rahmen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit des Biosphärenreservates der Nordvogesen (Frankreich) und des Berezinsky Biosphärenreservates (Weissrussland). Mittels Fallen wurden in 9 verschiedenen Habitaten des Biosphärenreservates Zählungen durchgeführt. Durch die Untersuchung der Gewölle von vier verschiedenen Arten Eulen und Käuze konnte die Liste der Mikro-Säugetiere ergänzt werden. Mit dieser Studie wurde der Bestand von 20 Arten von Mikro-Säugetieren nachgewiesen.

Mots-clés : Vosges du Nord, rongeurs, micromammifères, recensement.

INTRODUCTION

Les micromammifères constituent un groupe «artificiel» de vertébrés réunissant les espèces de 15 à 20 cm de long appartenant à l'ordre des Rongeurs et des Insectivores. Les Micromammifères jouent un grand rôle dans les écosystèmes, en particulier par la position qu'ils occupent dans les chaînes alimentaires. Ils sont en effet à la base de l'alimentation de nombreux rapaces et mammifères prédateurs et consomment divers invertébrés non accessibles aux oiseaux insectivores. Certaines espèces, en particulier dans le genre *Microtus*, peuvent causer des dommages en agriculture et en sylviculture pendant leur pullulation. Ces divers éléments sont à l'origine des études menées sur la structure, le nombre et la dynamique des populations de micromammifères.

En France, environ 40 espèces de micromammifères sont connues. Sur le territoire d'étude des Vosges du Nord, la présence de la moitié du nombre des espèces françaises peut être supposée.

Les recherches se situent dans le cadre du programme de coopération scientifique entre les Réserves de Biosphère des Vosges du Nord (France) et de Berezinsky (Belarus).

Le but de ces travaux est de déterminer la composition en micromammifères des Vosges du Nord et de comparer le nombre d'espèces dans différents habitats.

DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE

Les piégeages ont été réalisés principalement dans la région de La Petite-Pierre et dans le Pays de Bitche.

Dans le secteur de La Petite-Pierre, les 7 types d'habitats naturels suivants ont été étudiés :

- Forêt de chênes sur limons

Il s'agit d'une chênaie (*Quercus robur*) en régénération, située dans les parcelles 2 et 4 de la forêt communale de Bust. Ce site est caractérisé par une strate herbacée et buissonnante dense et diversifiée. La régénération est principalement composée de jeunes bouleaux (*Betula pendula*) et chênes, de ronces (*Rubus fruticosus*) et de framboisiers (*Rubus idaeus*). Cette forêt est située en lisière de prairies et de vergers traditionnels. Ces conditions, liées à une abondante couverture végétale, fournissent une alimentation potentielle pour différentes espèces de micromammifères, aussi bien des rongeurs que des insectivores.

- Verger traditionnel

Ce type de verger traditionnel d'arbres à hautes tiges est caractéristique de ce secteur. Plusieurs lignes d'arbres fruitiers distantes entre elles de quelques dizaines de mètres sont plantées dans des prairies de fauche. La fauche crée d'excellentes conditions pour la capture des micromammifères, principalement des rongeurs, par les rapaces. Le verger choisi est situé sur la commune de La Petite-Pierre.

- Forêt de pins et de chênes sur grès vosgien

Cette futaie de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) en mélange avec du chêne (*Quercus robur*) se situe en parcelle 18 de la forêt communale de Neuwiller-lès-Saverne. Ce site est caractérisé par la présence d'une importante strate herbacée composée essentiellement de myrtilles communes (*Vaccinium myrtillus*).

- Friche humide

Cette friche humide se situe dans la vallée du Niederbaechel. Elle est composée d'une strate herbacée dense de *Carex paniculata*, accompagnée de *Carex acutiformis*, d'Angélique des bois (*Angelica sylvestris*) et de Reine des prés (*Filipendula ulmaria*). Cette friche est bordée d'aulnes (*Alnus glutinosa*).

- Forêt de sapins

Cette futaie pure de sapins pectinés (*Abies alba*) se situe en parcelle 43 de la forêt domaniale de Bouxwiller dans la réserve nationale de chasse et de faune sauvage de La Petite-Pierre. La strate herbacée est assez pauvre et éparse et il y a très peu de sous-bois.

- Forêt de hêtres

Cette futaie de hêtres (*Fagus sylvatica*) se situe en parcelle 48 de la forêt domaniale de Bouxwiller dans la réserve nationale de chasse et de faune sauvage de

La Petite-Pierre. Il n'y a aucun sous-bois mais la strate herbacée y est assez dense et principalement composée de la Fétuque des bois (*Festuca altissima*).

- Forêt mélangée de feuillus

Cette forêt privée est située sur les pentes du château de La Petite-Pierre. Il s'agit d'un haut perchis mélangé de hêtres (*Fagus sylvatica*), de charmes (*Carpinus betulus*) et d'érables champêtres (*Acer campestre*) avec une abondance d'arbres morts et de branches mortes au sol et une strate herbacée très irrégulière. Cette forêt comprend quelques plantations d'épicéas (*Picea abies*).

Dans le Pays de Bitche, deux habitats seulement ont été étudiés :

- Forêt de pins sur tourbe

Cette pinède sur tourbe se situe dans les parcelles 200 et 201 de la forêt domaniale de Hanau III, classée en réserve naturelle. Il s'agit d'une futaie de pins sylvestres (*Pinus sylvestris*) avec un sous-étage de bouleaux pubescents (*Betula pubescens*) et une strate herbacée abondante de Myrtille des marais (*Vaccinium uliginosum*) et de Molinie (*Molinia caerulea*)

- Tourbière

Il s'agit de la tourbière du Grafenweiher, classée en réserve naturelle et appartenant au Groupement Forestier Vosges du Nord. La partie la plus tourbeuse et humide est composée de Molinie (*Molinia caerulea*) et de sphaignes (*Sphagnum sp.*). Elle est parsemée de bouleaux (*Betula pubescens*) et de jeunes pins (*Pinus sylvestris*)

MATÉRIELS ET MÉTHODES

La composition en micromammifères des divers habitats a été déterminée grâce à la méthode du piégeage. Des lignes de pièges standards ont été installées. Chaque ligne comprend 34 pièges métalliques de type INRA (5 x 5 x 15 cm) posés ouverts sur le sol à une distance de 3 m l'un de l'autre. Dans chaque site recensé, 2 lignes ont été installées en parallèle. Le contrôle des lignes s'effectue toutes les 24 heures pendant 3 à 6 jours. Ces séries de piégeage ont eu lieu en juillet et en août. Le nombre d'animaux capturés dans un milieu par 68 pièges pendant 6 jours revient à déterminer un chiffre rapporté à 408 nuits de piégeage. Le résultat en nombre d'animaux piégés est finalement exprimé pour 100 nuits de piégeage.

La liste des micromammifères de la Réserve de Biosphère a été complétée par l'analyse des pelotes de réjection de 4 espèces de rapaces nocturnes, à savoir la Chevêche d'Athéna (*Athene noctua*), le Grand-duc d'Europe (*Bubo bubo*), la Chouette hulotte (*Strix aluco*) et l'Effraie des clochers (*Tyto alba*).

Les espèces ont été identifiées à l'aide des ouvrages de BURTON (1991), CHALINE *et al.* (1974) et KEMPF et BAUMGART (1980).

RÉSULTATS

Composition en micromammifères des divers habitats

Les piégeages ont permis d'identifier 6 espèces de rongeurs et 2 espèces d'insectivores (tableau 1) :

- Musaraigne carrelet (*Sorex araneus*)
- Musaraigne pygmée (*Sorex minutus*)
- Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*)
- Campagnol agreste (*Microtus agrestis*)
- Campagnol des champs (*Microtus arvalis*)
- Rat taupier (*Arvicola terrestris*)
- Mulot gris (*Apodemus sylvaticus*)
- Mulot à gorge jaune (*Apodemus flavicollis*)

Espèces	Forêt de chênes	Verger	Forêt de pins-chênes	Friche humide	Forêt de sapins	Forêt de hêtres	forêt de pins sur tourbe	Tourbière	Forêt de feuillus
<i>Sorex araneus</i>	+			+					
<i>Sorex minutus</i>				+					
<i>Clethrionomys glareolus</i>	+		+	+	+			+	+
<i>Microtus agrestis</i>	+			*					
<i>Microtus arvalis</i>	+	+	+					+	+
<i>Arvicola terrestris</i>				+					
<i>Apodemus sylvaticus</i>	+		+				+	+	+
<i>Apodemus flavicollis</i>			+				+		+

Tableau 1 : Composition en micromammifères des divers habitats étudiés par piégeage.

Nombre de micromammifères piégés par habitat (tableau 2)

Le plus grand nombre de micromammifères est observé dans la forêt de chênes (5,8 individus pour 100 nuits de piégeage). Des valeurs moindres sont obtenues dans la jeune forêt de feuillus mélangée (3,5), la friche humide (3), la forêt mélangée de pins et de chênes (2,6) et dans la tourbière (2,6).

Espèces	Forêt chênes		Verger		Forêt pins		chêne humide		Forêt sapins		Forêt pins		Tourbière		Forêt feuillus	
	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage	nombre d'individus	nombre d'individus pour 100 nuits de piégeage
<i>Sorex araneus</i>	7	1,7	-	-	-	-	4	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sorex minutus</i>	-	-	-	-	-	-	2	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clothionomys glareolus</i>	8	1,5	-	-	1	0,2	1	0,3	1	0,3	-	-	1	0,4	7	1,3
<i>Microtus agrestis</i>	6	1,2	-	-	-	-	1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microtus arvalis</i>	5	1,2	1	0,3	1	0,2	-	-	-	-	-	-	1	0,4	-	-
<i>Arvicola terrestris</i>	-	-	-	-	-	-	2	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Apodemus sylvaticus</i>	1	0,2	-	-	8	2	-	-	-	-	2	0,7	5	1,8	1	0,2
<i>Apodemus flavicollis</i>	-	-	-	-	1	0,2	-	-	-	-	1	0,4	-	-	11	2
Total	24	5,8	1	0,3	11	2,6	10	3	1	0,3	3	1,1	7	2,6	19	3,5

Tableau 2 : Nombre d'individus capturés au cours des piégeages dans chaque type d'habitat.

Analyse des pelotes

- Effraie des clochers (*Tyto alba*)

Ces pelotes ont été récoltées dans des clochers d'églises et dans le grenier d'une école. Les restes de 12 espèces de micromammifères (tableau 3) et d'un oiseau ont été identifiés dans ces pelotes. Aux espèces déjà recensées grâce au piégeage s'ajoutent la Souris domestique (*Mus musculus*), le Rat des moissons (*Micromys minutus*), le Surmulot (*Rattus norvegicus*), la Musaraigne musette (*Crocidura russula*) et la Crossope (*Neomys fodiens*). Toutefois, la plus grande part du régime alimentaire de l'Effraie est composée du Campagnol des champs, *Microtus arvalis*.

Espèces	Niederbronn	Weinbourg	Zinswiller	Zinswiller	Zinswiller	Total	
	église catholique	église protestante	église catholique	église protestante	école	Nombre	%
<i>Sorex araneus</i>	22	18	1	6	1	48	13,64
<i>Sorex minutus</i>	8	4	1	2	-	15	4,28
<i>Neomys fodiens</i>	-	1	-	-	-	1	0,28
<i>Crocidura russula</i>	11	4	-	4	-	19	5,40
<i>Clothionomys glareolus</i>	1	1	1	3	1	7	1,99
<i>Microtus agrestis</i>	6	20	-	1	4	31	8,81
<i>Microtus arvalis</i>	54	55	12	26	14	181	45,74
<i>Arvicola terrestris</i>	1	5	-	1	-	7	1,99
<i>Rattus norvegicus</i>	-	1	-	-	-	1	0,28
<i>Apodemus sylvaticus</i>	13	29	3	7	3	56	15,62
<i>Micromys minutus</i>	2	1	-	1	-	4	1,14
<i>Mus musculus</i>	2	-	-	-	-	2	0,57
Oiseau	1	-	-	-	-	1	0,28
Total	121	18	51	138	23	362	100

Tableau 3 : Analyse des pelotes d'Effraie récoltées dans trois communes des Vosges du Nord.

- Chouette hulotte (*Strix aluco*)

L'analyse a porté sur les restes d'un nichoir avec une nichée de deux jeunes âgés de deux semaines. Ces restes étaient en mauvais état mais la liste suivante a pu être déterminée :

Oiseau	3
Taupe commune (<i>Talpa europaea</i>)	3
Musaraigne carrelet (<i>Sorex araneus</i>)	1
Campagnol des champs (<i>Microtus arvalis</i>)	5
Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	7
Rat taupier (<i>Arvicola terrestris</i>)	3
Mulot (<i>Apodemus sp.</i>)	34

- Grand-duc d'Europe (*Bubo bubo*)

L'analyse a porté sur des pelotes récoltées près d'une aire et d'une zone de chasse. En tant que superprédateur et plus grand rapace nocturne d'Europe, le Grand-duc capture des proies de grande taille : Surmulot (*Rattus norvegicus*), Hérisson (*Erinaceus europaeus*), pigeons, Corneille noire (*Corvus corone*). Mais la part des micrommamifères est tout de même importante, comme le montre la liste suivante :

Oiseau	
grand	2
petit	1
Hérisson d'Europe (<i>Erinaceus europaeus</i>)	1
Musaraigne carrelet (<i>Sorex araneus</i>)	2
Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	1
Campagnol des champs (<i>Microtus arvalis</i>)	23
Mulot (<i>Apodemus sp.</i>)	4
Surmulot (<i>Rattus norvegicus</i>)	3

- Chevêche d'Athéna (*Athene noctua*)

Les pelotes de la Chevêche d'Athéna proviennent de nichoirs. A cela s'ajoutent quelques restes de proies momifiées. L'analyse fait ressortir une grande part de Campagnol des champs, *Microtus arvalis* (13 proies sur 14). Le Mulot gris, *Apodemus sylvaticus*, n'a été trouvé que dans une seule pelote. Les restes d'insectes sont également abondants, spécialement à la fin du printemps et au début de l'été. Parmi les proies momifiées : le Campagnol des champs, *Microtus arvalis*, la Taupe commune, *Talpa europaea*, la Musaraigne carrelet, *Sorex araneus* et le Rat taupier, *Arvicola terrestris*.

Même si le matériel collecté n'est pas identique, l'analyse des proies des quatre espèces de rapaces nocturnes fait apparaître un régime le plus diversifié pour l'Effraie des clochers. Cette espèce compte une proportion importante de musaraignes (plus de 20 % du nombre de proies). Pour trois des rapaces nocturnes, le Campagnol des champs joue un grand rôle (de 46 % pour l'Effraie à 93 % pour

la Chevêche). Ce rongeur est probablement le plus abondant des milieux ouverts de la région. La base du régime de la Chouette hulotte est constituée de Mulots, *Apodemus sp.*, ce qui s'explique par l'habitat forestier de cette chouette.

DISCUSSION

Il existe des différences de composition en micromammifères dans les divers habitats. Ainsi, le Mulot à gorge jaune, le Mulot gris et le Campagnol roussâtre occupent les milieux forestiers. Parmi eux, le Mulot à gorge jaune est l'habitant le plus typique de la forêt tandis que les autres espèces peuvent se rencontrer en milieu ouvert ou dans des forêts clairsemées. Deux espèces, le Rat taupier et la Musaraigne pygmée vivent seulement en milieu humide et le Rat taupier est l'espèce la plus liée aux zones humides. Le genre *Microtus* est typique des milieux ouverts : prairies avec ou sans vergers et stades buissonnants.

Seules la forêt de chênes et la friche humide comptent cinq espèces de micromammifères.

La richesse en micromammifères de la forêt de chênes en régénération peut s'expliquer par la réunion de caractères liés aux forêts et aux prairies. La diversité en micromammifères de la friche humide est due à la spécificité du milieu humide et à la présence de la forêt, comme l'atteste la présence du Campagnol roussâtre, *Clethrionomys glareolus*.

L'absence d'espèces piégées ou leur faible nombre dans plusieurs habitats, tels que la sapinière et la hêtraie, peuvent s'expliquer par l'absence de sous-bois et de couvert pour les micromammifères. En particulier, le sol de la sapinière est trop pauvre pour fournir une alimentation aux micromammifères.

La tourbière est caractérisée par des espèces typiques des milieux forestiers tels que le Campagnol roussâtre et le Mulot gris. Nous supposons que ces espèces sont liées à la forêt entourant la tourbière qu'ils utilisent pour leur alimentation.

Le nombre de micromammifères dépend de la diversité de la végétation, de la présence de sous-bois et de branches et bois morts au sol.

Plusieurs espèces présentes dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord n'ont pas pu être mises en évidence ni par le piégeage, ni par l'analyse des pelotes lors de cette étude. Il s'agit de la Musaraigne bicolore, *Crocidura leucodon* et du Campagnol souterrain, *Pitymys subterraneus*, découverts dans les pelotes de l'Effraie par M.-C. Saint-Girons, D. Bersuder et F. Léger (MULLER, 1997), du Loir gris, *Glis glis*, et du Lérot, *Eliomys quercinus*, découverts dans le régime alimentaire de la Hulotte et du Rat noir, *Rattus rattus*, découvert dans le régime alimentaire du Grand-duc d'Europe par D. Bersuder et Y. Kayser (MULLER, 1997). De plus le Loir est un hôte régulier des greniers du château de La Petite-Pierre (J.-C. GENOT, comm. pers.). Enfin le Muscardin, *Muscardinus avellanarius*,

a été observé dans un fourré-gaulis de frênes et d'érables sycomores à Butten le 23 avril 1996 (G. LAVAUPOT, comm. pers.) et à côté de son nid dans un roncier en lisière de forêt à Lohr à la mi-septembre 1998 (J.-L. HAMANN, comm. pers.).

COMPARAISON AVEC BEREZINSKY

La comparaison de la liste des micromammifères avec celle de la Réserve de Biosphère de Berezinsky révèle 15 espèces en commun. Certaines espèces continentales ou nordiques liées à la taïga ne sont présentes qu'à Berezinsky. Il s'agit de la Musaraigne masquée, *Sorex caecutiens*, de la Musaraigne minuscule, *Sorex minutissimus*, de la Musaraigne sombre, *Sorex sinalis*, du Lérotin, *Dryomys nitedula*, du Campagnol nordique, *Microtus oeconomus*, du Mulot à raie, *Apodemus agrarius* et de la Souris des bouleaux du Nord, *Sicista betulina*.

Avec 22 espèces, le peuplement en micromammifères de la Réserve de Biosphère de Berezinsky est un peu plus riche que celui de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord.

CONCLUSIONS

Le piégeage et l'analyse des pelotes révèlent la présence de 20 espèces de micromammifères dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord :

1. Taupe commune (*Talpa europaea*)
2. Musaraigne carrelet (*Sorex araneus*)
3. Musaraigne pygmée (*Sorex minutus*)
4. Musaraigne bicolore (*Crocidura leucodon*)
5. Crossope (*Neomys fodiens*)
6. Musaraigne musette (*Crocidura russula*)
7. Campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*)
8. Campagnol agreste (*Microtus agrestis*)
9. Campagnol des champs (*Microtus arvalis*)
10. Campagnol souterrain (*Pitymys subterraneus*)
11. Rat taupier (*Arvicola terrestris*)
11. Surmulot (*Rattus norvegicus*)
12. Rat noir (*Rattus rattus*)
13. Mulot gris (*Apodemus sylvaticus*)
14. Mulot à gorge jaune (*Apodemus flavicollis*)
16. Rat des moissons (*Micromys minutus*)
17. Souris domestique (*Mus musculus*)
18. Lérot (*Eliomys quercinus*)
19. Loir (*Glis glis*)
20. Muscardin (*Muscardinus avellanarius*)

Les micromammifères préfèrent les milieux gérés de façon non intensive avec une végétation riche et diversifiée, un sous-bois dense et des zones buissonnantes. La plus grande diversité en micromammifères est observée dans les biotopes de transition entre les différents écosystèmes.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Marc ARTOIS du Centre National d'Etudes Vétérinaires et Alimentaires pour avoir mis le matériel de piégeage à notre disposition. Je remercie également Eric LE NUZ et Jean-Claude GÉNOT pour leur aide précieuse sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- BURTON J. 1991. Field Guide to the Mammals of Britain and Europe. Kingfisher.
- CHALINE J., BAUDVIN H., JAMMOT D. et SAINT-GIRONS M.-C. 1974. Les proies des rapaces. Doin. 141 p.
- KEMPF C. et BAUMGART G. 1980. Mammifères d'Alsace. Les guides Gesta. 336 p.
- MULLER Y. 1997. Les oiseaux de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ciconia* 21 : 1-347.

Les chauves-souris dans la Réserve de la Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald

par Jean-François SCHNEIDER (1), Franz GRIMM (2), Loïc DUCHAMP (3)
et Ludwig SEILER (4).

- 1) 32, Grand'rue - 57510 Holving
- 2) Kronstrasse 7 - D - 76835 Gleisweiler
- 3) 5, rue du Kehrweg - 67290 Zittersheim
- 4) Modenbachstrasse 3 - D-76835 Weyher

Résumé : Les études et investigations menées conjointement, au cours de la période 1991-1998, dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord et le Naturpark Pfälzerwald, ont mis en évidence la présence de 17 espèces de chauves-souris sur le territoire de la Réserve de la Biosphère transfrontalière.

A côté des observations traditionnelles (visites de sites d'hibernation, de sites de mise-bas), l'utilisation du détecteur à ultrasons et la mise en place de nichoirs spéciaux ont permis d'accroître notre champ d'investigation.

En complément des inventaires, plusieurs sites importants, notamment pour l'hibernation, ont pu être protégés grâce à leur fermeture par des grilles spéciales «chauves-souris».

Summary : The studies and investigations, conducted jointly during the period 1991-1998 in the Northern Vosges Natural Regional Park and the Pfälzerwald Natural Park, showed the presence of 17 species of bat on the territory of the transboundary Biosphere Reserve.

In addition to traditional forms of observation (visits to hibernation and birthing sites), the use of ultrasound detection and the positioning of special nestboxes permitted the extension of the field of investigation.

Complementing the inventories, several important sites, notably those used for hibernation, have been able to benefit from protection thanks to their enclosure by «bat» grills.

Zusammenfassung : Von 1991-1998 wurden im Naturpark Pfälzerwald und im Regionalpark Nordvogesen Fledermausbestandsaufnahmen durchgeführt. 17 Fledermausarten konnten so auf dem Gebiet des neuen grenzüberschreitenden Biosphärenreservates nachgewiesen werden.

Neben traditionellen Beobachtungsmethoden (Bestandsaufnahmen in den Winterquartiere und in den Wochenstube) wurde auch mit Ultraschalldetektor sowie von zu Beobachtungszwecken angelegten Fledermauskästen gearbeitet.

Viele wichtige Fledermausstätten - besonders Überwinterungsquartieren - konnten durch Fledermausgitter geschützt werden.

Mots-clés : chauves-souris, Réserve de la Biosphère, Vosges du Nord, Palatinat.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années maintenant, des équipes de chiroptérologues français et allemands étudient les chauves-souris du Parc naturel régional des Vosges du Nord et du Naturpark Pfälzerwald. Des contacts entre les différentes équipes ont pu se nouer, permettant ainsi des échanges d'informations et d'expériences. Des sorties communes ont également été organisées, favorisant ainsi une meilleure connaissance de certains sites. Le bilan que nous présentons ici n'est pas une étude comparative des populations de chauves-souris dans les deux parcs, mais il constitue un premier bilan sur tout ce travail de prospection, de recherche et de réflexion. Il a pour but une connaissance de plus en plus fine des populations de chauves-souris qui permettra la mise en protection et la gestion des sites les plus sensibles.

Depuis l'automne 1998, le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord et le Naturpark Pfälzerwald forment une seule Réserve de la Biosphère qui s'étend des deux côtés de la frontière. Cette réserve, d'une superficie de 3016 km², regroupe 244 communes dans lesquelles vivent 305 000 habitants.

C'est sur ce territoire, dominé par le milieu forestier, que les chiroptérologues allemands et français étudient les chauves-souris depuis le début des années 80. Mais c'est surtout depuis le début des années 90 que les études les plus précises ont été menées, notamment par un travail mené avec le Sycoparc et par un travail coopératif entre chiroptérologues allemands et français.

C'est pour cela que les bilans pris en compte dans cette étude couvrent la période 1991-1998 pour les Vosges du Nord et la période 1995-1998 pour le Pfälzerwald.

MÉTHODOLOGIE

Les méthodes d'investigation des milieux ont été aussi variées que possibles, afin de permettre une connaissance la plus fine possible des différentes populations de chauves-souris vivant dans les deux parcs :

- Visite de bâtiments (sites d'estivage et de mise-bas) ;
- Visite de souterrains, fissures de rochers et ruines de châteaux (sites d'hibernation) ;
- Etude de terrains de chasse grâce à l'utilisation du détecteur à ultrasons ;
- Installation de nichoirs ;
- Capture par pose de filets (Naturpark Pfälzerwald).

Les pratiques sont pourtant différentes des deux côtés de la frontière.

1) Dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, différents groupes de personnes se sont intéressées aux chauves-souris, mais depuis la fin des années 80, après l'inventaire régional des chauves-souris effectué par Gérard BAUMGART et collaborateurs, c'est la Commission Permanente d'Étude et de Protection des Eaux Souterraines et des Caves (CPEPESC) de Lorraine qui a impulsé, en liaison avec le Sycoparc, un certain nombre d'études.

– 1990-1992 : dans le cadre de l'inventaire des richesses naturelles du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, une prospection systématique des différents milieux est effectuée par la CPEPESC-Lorraine qui dresse, dans son rapport, une liste des espèces présentes et des sites sensibles (HAMON *et al.*, 1994).

– 1994 : le Sycoparc confie à la CPEPESC l'inventaire des chauves-souris en hivernage dans le château de Lichtenberg. L'association est chargée de faire des propositions pour concilier leur maintien avec les aménagements du site (RENNER, 1997).

– 1996 : les chauves-souris sont prises en compte dans le programme d'étude «Biodiversité et Gestion Forestière» proposé par le Sycoparc et l'Office National des Forêts. La CPEPESC a mené ce travail en réalisant une étude comparative des forêts de Zittersheim et d'Erckarstwiller à l'aide de la technique d'écoute sonométrique.

– 1998 : un inventaire faunistique des combles et clochers publics du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord a été réalisé par l'association «Les Piverts» et la CPEPESC et 309 sites ont pu être visités.

2) Dans le Naturpark Pfälzerwald, les études ont été menées par des naturalistes sans réelle coopération avec les instances du Naturpark. Ainsi les principales études menées sont les suivantes :

- Étude et mise en protection de sites d'hibernation dans le Naturpark ;
- Étude des chauves-souris en hibernation dans les vieux châteaux et les fissures des rochers ;
- Installation et suivi d'un grand nombre de nichoirs ;
- Étude des zones de chasse par la capture aux filets et l'utilisation de détecteurs à ultrasons.

Il est à noter que deux études ont été menées par des étudiants : l'une dans le cadre de l'Université de Koblenz-Landau (KETTERING, 1996), la deuxième dans celui de l'Université de la Sarre à Sarrebruck (REISER, 1998). Cette dernière, qui concernait le Vespertilion à oreilles échancrées, a pris en compte des sites du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord.

Les résultats des observations :

PNRVN					
Espèces	Nbre d'obs.	% d'obs.	Nbre d'ind.	% d'ind.	Max d'ind./Obs.
Grand Murin, <i>Myotis myotis</i>	411	28,27	12429	76,53	1200
V. à moustaches, <i>Myotis mystacinus</i>	88	6,05	172	1,06	7
V. à moust./Reinoldt, <i>Myotis brandtii</i>	5	0,34	7	0,04	3
V. à oreilles éch., <i>Myotis emarginatus</i>	53	3,65	401	2,47	19
V. de Bechstein, <i>Myotis bechsteinii</i>	24	1,65	24	0,15	1
V. de Daubenton, <i>Myotis daubentonii</i>	182	12,52	454	2,80	30
V. de Natterer, <i>Myotis nattereri</i>	104	7,15	273	1,68	27
Barbastelle, <i>Barbastella barbastellus</i>	53	3,65	132	0,81	36
Noctule commune, <i>Nyctalus noctula</i>	35	2,41	84	0,52	12
Noctule de Leisler, <i>Nyctalus leisleri</i>	5	0,34	5	0,03	1
Oreillards, <i>Plecotus sp.</i>	222	15,27	517	3,18	14
P. de Nathusius, <i>Pipistrellus nathusii</i>	2	0,07	1	0,01	1
P. commun, <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	132	9,08	1343	8,27	113
Sérotine boréale, <i>Eptesicus nilssonii</i>	3	0,21	3	0,02	1
Sérotine commune, <i>Eptesicus serotinus</i>	61	4,20	307	1,89	100
Vespertilion, <i>Myotis sp.</i>	58	3,99	71	0,44	3
Chauve-souris non identifiée	17	1,17	17	0,10	3
TOTAL	1454		16240		

Tableau 1 : Les chauves-souris observées dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord durant la période 1991-1998.

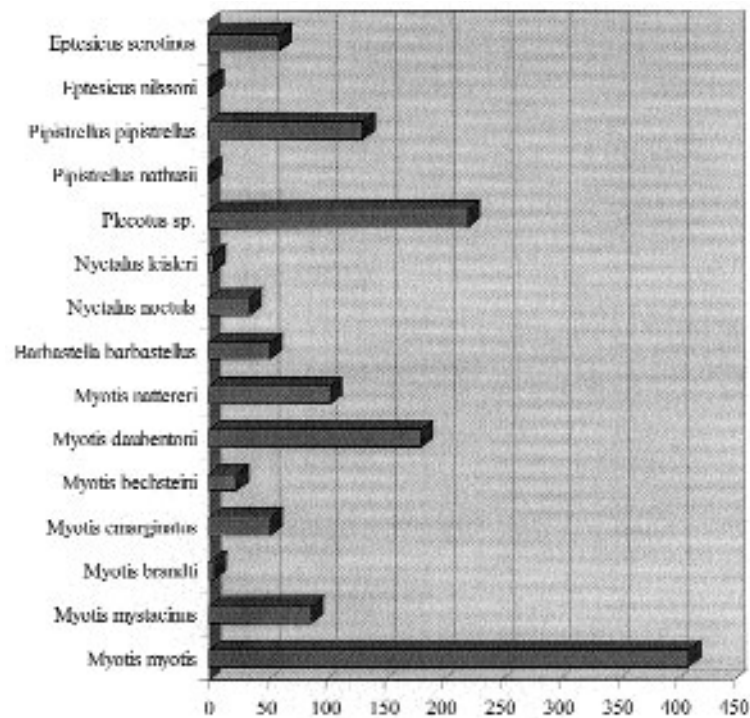


Figure 1 : Les chauves-souris observées dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord durant la période 1991-1998 : nombre d'observations par espèce.

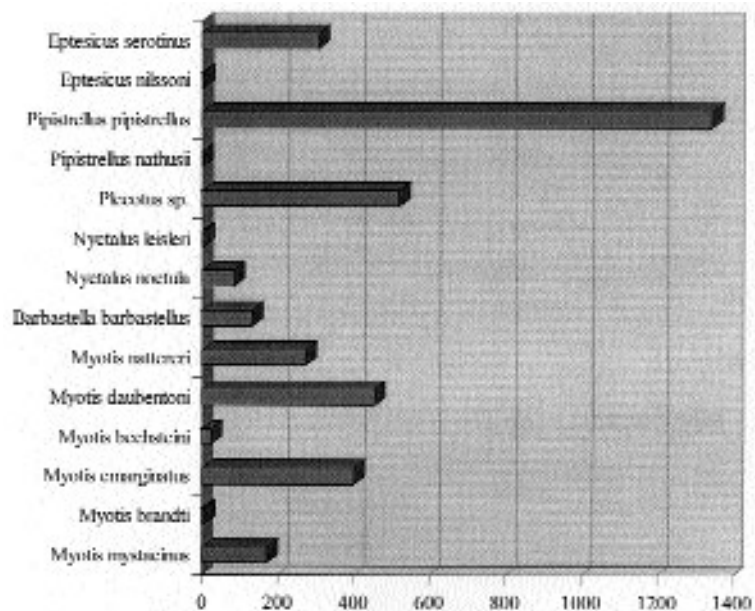


Figure 2 : Les chauves-souris observées dans le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord durant la période 1991-1998 : nombre d'individus par espèce. Les Grands Murins observés n'ont pas été pris en compte dans ce graphique, pour des raisons de lisibilité. Le nombre d'individus comptabilisés de cette espèce est en effet très élevé par rapport au nombre total (76 %).

NPW					
Espèces	Nbre d'obs.	% d'obs.	Nbre d'ind.	% d'ind.	Max d'ind./Obs.
Grand Murin, <i>Myotis myotis</i>	244	22,22	1434	22,79	62
V. à moustaches, <i>Myotis mystacinus</i>	168	15,30	607	9,65	18
V. à moust./Brandt, <i>Myotis brandti</i>	1	0,09	1	0,02	1
V. à oreilles éch., <i>Myotis emarginatus</i>	41	3,73	393	6,25	41
V. de Bechstein, <i>Myotis bechsteini</i>	75	6,83	307	4,88	28
V. de Daubenton, <i>Myotis daubentoni</i>	152	13,84	588	9,34	15
V. de Natterer, <i>Myotis nattereri</i>	78	7,10	249	3,96	12
Barbastelle, <i>Barbastella barbastellus</i>	1	0,09	1	0,02	1
Noctule commune, <i>Nyctalus noctula</i>	20	1,82	218	3,46	17
Noctule de Leisler, <i>Nyctalus leisleri</i>	13	1,18	143	2,27	5
Oreillard roux, <i>Plecotus auritus</i>	151	13,75	538	8,55	47
Oreillard gris, <i>Plecotus austriacus</i>	37	3,37	86	1,37	11
P. de Nathusius, <i>Pipistrellus nathusii</i>	1	0,09	1	0,02	1
P. commune, <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	92	8,38	1559	24,77	156
Sérotine boréale, <i>Eptesicus nilssonii</i>	2	0,18	2	0,03	1
Sérotine commune, <i>Eptesicus serotinus</i>	20	1,82	160	2,54	119
Sérotine bicolore, <i>Vesperugo murinus</i>	2	0,18	6	0,10	1
TOTAL	1098		6293		

Tableau 2 : Les chauves-souris observées dans le Naturpark Pfälzerwald durant la période 1995-1998.

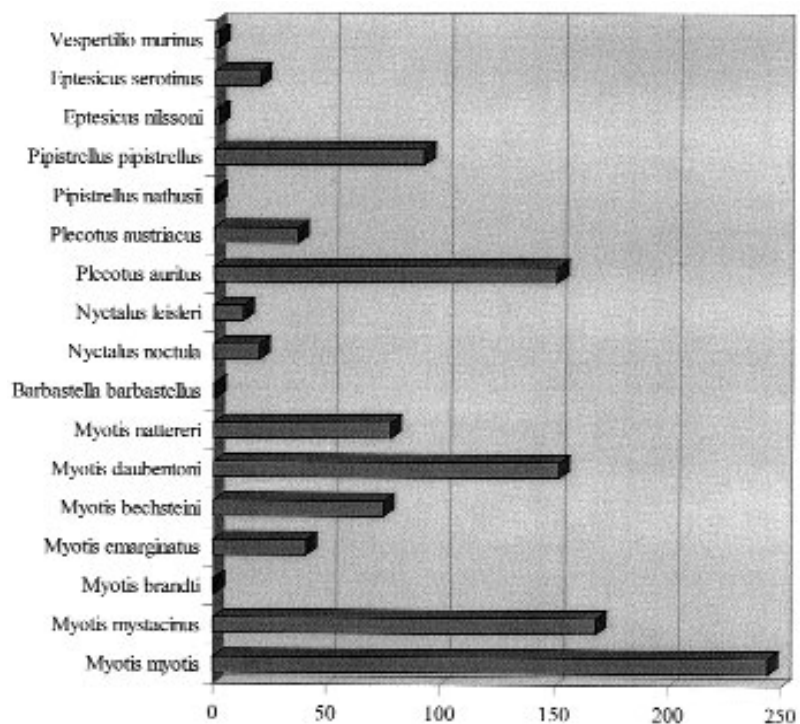


Figure 3 : Les chauves-souris observées dans le Naturpark Pfälzerwald durant la période 1995-1998: nombre d'observations par espèce.

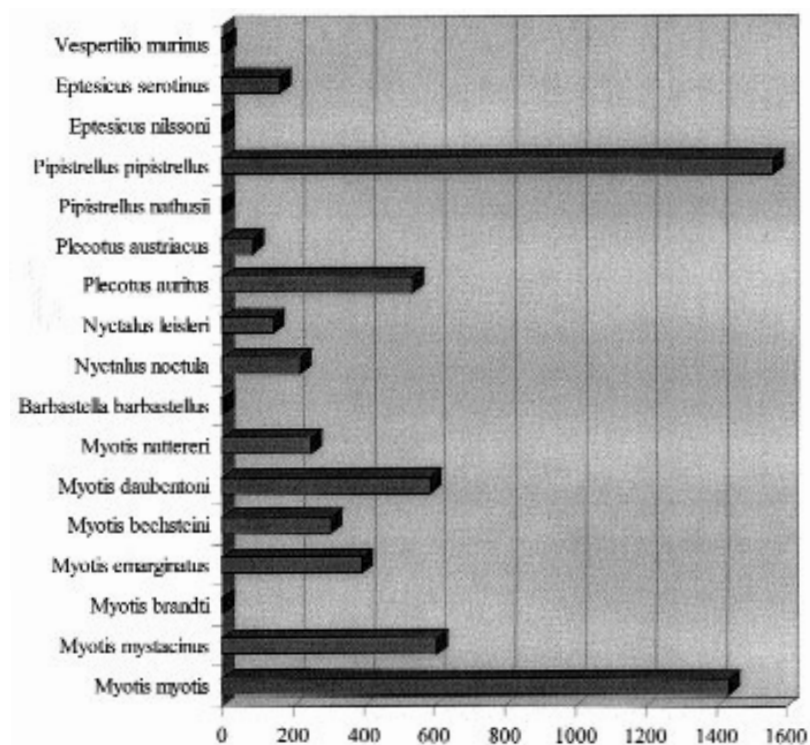


Figure 4 : Les chauves-souris observées dans le Naturpark Pfälzerwald durant la période 1995-1998: nombre d'individus par espèce.

STATUT DES DIFFÉRENTES ESPECES DANS LES DEUX PARCS :

Myotis myotis (Borkhausen,1797), Grand Murin, Grosses Mausohr

Vosges du Nord : 15 colonies de mise-bas de Grand Murin sont connues et suivies annuellement, ce qui représente des effectifs importants. De plus, l'espèce est souvent observée dans les sites d'hibernation souterrains et des fissures de rochers. En été, des sites de repos nocturnes utilisés au cours des périodes de chasse ont pu être mis en évidence. Il a été entendu au détecteur à ultrasons et observé en chasse dans un verger en lisière de forêt à Zittersheim (67).

Pfälzerwald : l'espèce est rencontrée régulièrement en période hivernale dans le milieu souterrain (WISSING, 1993 ; WISSING & KÖNIG, 1994 et 1995), le Grand Murin a été observé en période estivale dans des nichoirs qui ont également été utilisés comme sites de copulation (WISSING *et al.*, 1996).

Myotis daubentoni (Kuhl,1817), Vespertilion de Daubenton, Wasserfledermaus

Vosges du Nord : le Vespertilion de Daubenton est entendu et observé en de nombreux endroits en chasse au-dessus de plans d'eau. Il est également aperçu en période de transit et d'hibernation dans le milieu souterrain et des fissures de rochers. Il a été observé en nichoir dans la forêt de Zittersheim, mais aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Pfälzerwald : l'espèce est bien représentée dans les nichoirs et régulièrement observée en hibernation, notamment dans le milieu souterrain.

Myotis mystacinus (Kuhl,1817), Vespertilion à moustaches, Bartfledermaus

Vosges du Nord : seuls quelques individus sont rencontrés en milieu souterrain en période d'hibernation ou de transit. Aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Pfälzerwald : il est beaucoup plus commun dans les souterrains en hiver.

Myotis nattereri (Kuhl, 1817), Vespertilion de Natterer, Fransenfledermaus

Vosges du Nord : le Vespertilion de Natterer est observé dans le milieu souterrain, des fissures de rochers ou dans des ruines de châteaux en période d'hibernation ou de transit. Il est surtout bien représenté dans le souterrain d'Ingwiller (DUCHAMP, 1998). Aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Pfälzerwald : il est aussi observé dans les mêmes types de gîte et régulièrement en nichoir.

Myotis emarginatus (Geoffroy, 1806), Vespertilion à oreilles échancrées, Wimperfledermaus

Vosges du Nord : le Vespertilion à oreilles échancrées est surtout observé dans un site militaire souterrain du nord-est du Parc. Aucune colonie de mise-bas n'est connue, mais les individus présents en hiver pourraient venir de colonies connues dans la plaine d'Alsace proche.

Pfälzerwald : REISER (1998) a montré que le Vespertilion à oreilles échancrées était bien représenté dans les anciennes galeries de mines. L'espèce a également été entendue à l'aide du détecteur en plusieurs endroits.

Myotis bechsteini (Kuhl, 1818), Vespertilion de Bechstein, Bechsteinfledermaus

Vosges du Nord : présent de temps en temps, toujours de manière isolé, en hibernation dans le milieu souterrain ou dans des fissures de rochers, le Vespertilion de Bechstein est peu observé. En été, les seules observations de cette espèce sont faites dans des nichoirs qui sont accrochés en limite de forêt et que l'espèce fréquente régulièrement en période de transit. Aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Pfälzerwald : c'est l'espèce la plus souvent observée dans les nichoirs, surtout dans les forêts aux essences mixtes dans le nord du Parc.

Nyctalus noctula (Schreber, 1774), Noctule commune, Grosser Abendsegler

Vosges du Nord : la Noctule commune est peu représentée (2,4 % des observations et 0,53 % des individus pour la période 1991-1998), elle est surtout observée en chasse au cours de la période estivale. Un site d'hibernation en bâtiment a été observé, mais aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Pfälzerwald : une étude a été réalisée au cours de l'hiver 1995/96 dans le Sud du Parc où 21 sites rocheux ont été inspectés minutieusement. 131 Noctules communes ont ainsi pu être comptabilisées dans dix fissures de rochers (WISSING, 1996, WISSING *et al.*, 1996).

Nyctalus leisleri (Kuhl, 1817), Noctule de Leisler, Kleiner Abendsegler

Vosges du Nord : la Noctule de Leisler n'est observée qu'en période de chasse en été. Pendant la période 1991-1998, aucun gîte d'été ou d'hiver n'a été découvert. Avant cette période, HAMON (1989) a observé un individu immature dans une résidence secondaire à Roppeviller, ce qui prouve l'existence d'une colonie de mise-bas qui n'a pourtant pu être localisée précisément.

Pfälzerwald : l'espèce est observée souvent dans des nichoirs qu'elle occupe à partir du mois d'août (KÖNIG & KÖNIG, 1995), quand les colonies de mise-bas se dispersent.

Eptesicus serotinus (Schreber, 1774), Sérotine commune, Breitflügelvedermaus

Vosges du Nord : la Sérotine commune représente 4,2 % des observations et 1,9% des individus, elle est irrégulièrement présente en hiver dans le milieu souterrain (HAMON, 1991 ; DUCHAMP, 1998). En chasse, elle a été détectée et observée aussi bien en zone d'habitats qu'en milieu ouvert ou forestier. Plusieurs colonies de mise-bas en combles sont connues, dont une d'une centaine d'individus.

Pfälzerwald : l'espèce n'a pas été observée dans les nichoirs. En hiver, par contre, elle est présente dans le milieu souterrain mais également dans les ruines de château ou les fissures de rochers (SEILER & GRIMM, 1995 ; WISSING & KÖNIG, 1996b).

Eptesicus nilsoni (Keyserling & Blasius, 1839), Sérotine de Nilsson ou boréale, Nordfledermaus

Vosges du Nord : la Sérotine de Nilsson ou Sérotine boréale a été observée très rarement en période d'hibernation dans le milieu souterrain ou pseudo-souterrain (HAMON *et al.* ; 1994 - HAMON, 1998). Elle a également été notée à plusieurs endroits en période estivale. Une femelle lactante a notamment été capturée au filet dans la région de Niederbronn-les-bains le 23 juillet 1985 (HOMMAY *et al.*, 1989). Le Prof. Dr. Reinald SKIBA (SKIBA, à paraître) a entendu l'espèce en chasse à l'aide d'un détecteur à ultrasons en plusieurs endroits, au cours de l'été 1997.

Pfälzerwald : présence de plusieurs individus en chasse, dès 1989 (SKIBA, 1989). Aucune colonie de mise-bas n'est connue.

Vespertilio murinus (Linnaeus, 1758) Sérotine bicolore, Zweifarbfledermaus

Cette espèce a été, jusqu'à présent, observée uniquement dans le Pfälzerwald (WISSING & KÖNIG, 1996a).

Pipistrellus pipistrellus (Schreber, 1774), Pipistrelle commune, Zwergfledermaus

Vosges du Nord : la Pipistrelle commune est bien présente sur tout le territoire et observée dans différents milieux (HAMON *et al.*, 1994). Ainsi, plusieurs sites d'estivage et de mise-bas sont connus dans des habitations. Elle a également été trouvée en hibernation dans des fissures de rochers, en transit dans des nichoirs spéciaux pour chauves-souris et elle a été entendue et observée aussi bien dans le milieu forestier que dans des milieux ouverts, dans les villages ou autour de plans d'eau. C'est certainement l'espèce la plus commune des Vosges du Nord bien que les chiffres ne l'expriment pas. En effet, toutes les colonies observées ne figurent pas dans le fichier et les effectifs des colonies sont souvent sous estimés.

Pfälzerwald : c'est l'espèce la plus observée en nombre d'individus, de nombreux sites d'hibernation ont été trouvés dans des fissures de rochers ou des ruines de châteaux. Par ailleurs, certaines observations sur des colonies situées dans des habitations montrent que les quartiers d'hiver sont les mêmes, pour cette espèce, que les sites d'estivage (WISSING *et al.*, 1996).

Pipistrellus nathusii (Keyserling & Blasius, 1839), Pipistrelle de Nathusius, Rauhhaufledermaus

Vosges du Nord : cette espèce a été observée à deux reprises seulement. Une première fois en novembre 1993 dans les ruines d'un château (RENNER, 1994). Une seconde fois par nous-mêmes, un mâle de l'espèce a été observé en transit dans un nichoir spécial «chauves-souris» en compagnie d'une Pipistrelle commune. Le nichoir était placé en zone forestière, à Dambach (67), au pied de la colline du château du Hohenfels.

Pfälzerwald : l'espèce n'est signalée qu'une seule fois en hiver (WISSING *et al.*, 1996). Par contre, elle fréquente régulièrement les nichoirs dans lesquels elle a été observée à plusieurs reprises.

Barbastella barbastellus (Schreber, 1774), Barbastelle d'Europe, Mopsfledermaus

Vosges du Nord : cette espèce est observée régulièrement en milieu souterrain ou dans des fissures de rochers en période hivernale ou de transit (RENNER, 1997). La Barbastelle n'a pas été observée ailleurs, mise à part la découverte d'un cadavre dans les combles d'une église (SCHNEIDER et HAMON, 1997). Il faut noter que même en hiver, la Barbastelle est une espèce qui bouge souvent et ne se réfugie dans le milieu souterrain que par grand froid. Cependant, 36 individus ont pu être observés simultanément en décembre 1998, après une période froide, dans un tunnel SNCF désaffecté.

Pfälzerwald : un seul individu de l'espèce est signalé (KÖNIG & WISSING, 1996).

Plecotus austriacus et *Plecotus auritus* (Geoffroy, 1818), Oreillard gris et roux, Graues und Braunes Langohr

Vosges du Nord : les deux espèces, Oreillard gris et Oreillard roux, sont représentées. Pourtant, nous ne les distinguerons pas ici pour des raisons de difficultés de différenciation. En effet, il s'agit ici de deux espèces jumelles qu'il est très difficile de distinguer l'une de l'autre sans manipulation et même mesures biométriques. L'oreillard est principalement rencontré dans le milieu souterrain en période hivernale ou de transit. Des colonies d'estivage et de mise-bas sont également connues (DUCHAMP, 1998).

Pfälzerwald : des observations plus précises ont montré que les deux espèces étaient présentes avec une forte domination de l'Oreillard roux en nombre d'individus. Les deux espèces sont observées en hibernation dans le milieu souterrain et dans les nichoirs, c'est principalement l'Oreillard roux qui est représenté (WISSING *et al.*, 1996).

SITES D'HIVERNAGE ET D'ESTIVAGE

1) Sites d'estivage et de mise-bas :

Les sites de mise-bas bénéficient d'une protection légale stricte. Pourtant, il est pratiquement impossible de maintenir une colonie dans des combles, contre la volonté du propriétaire. C'est pour cela qu'il est important de maintenir les combles publics accessibles aux diverses espèces anthropophiles.

Dans les Vosges du Nord, afin de protéger des sites de mise-bas de Grands Murins, plusieurs combles d'églises ont été mis en protection par des Arrêtés de Protection de Biotope (APB). Il s'agit des édifices suivants :

Eglise de Dambach (67),
Eglise de Roppeviller (57),
Temple protestant de Baerenthal (57).

Un suivi annuel se fait également sur les autres sites de mise-bas qui sont relativement protégés face aux intrusions humaines, mais qui posent parfois des problèmes de cohabitation entre plusieurs espèces. C'est pour cela que la CPEPESC-Lorraine a impulsé une étude sur les combles et greniers publics dans les Vosges du Nord, afin de connaître l'état des lieux et les espèces concernées et de proposer des aménagements en fonction des observations et des priorités dégagées.

2) Sites d'hivernage

Dans les Vosges du Nord, plusieurs sites accueillant des chauves-souris en période de transit et en hibernation ont été fermés par des grilles spéciales «chauves-souris». Une porte aménagée dans la grille permet l'accès au site et un suivi des populations.

* Le souterrain d'Ingwiller (67) : il s'agit d'un ancien souterrain militaire composée d'une partie profonde, fermée au public, et d'une partie ouverte vers l'extérieur qui a été aménagée en site pédagogique. Cette deuxième partie a été équipée d'un certain nombre de panneaux et sert pour des animations (excepté du mois de novembre à février inclus). Ce site est protégé légalement par un Arrêté préfectoral de protection de biotope (APB) (DUCHAMP, 1998).

* Le souterrain de Baerenthal (57) : il s'agit là aussi d'un souterrain militaire qui accueille des chauves-souris en transit ou en hibernation. Ce site fait partie de la «Réserve naturelle des rochers et tourbières du Pays de Bitch» (HAMON, 1991).

* Le souterrain du château de La Petite-Pierre (67) : il est situé dans le château occupé par l'administration du Parc et accueille plusieurs espèces en transit ou en hibernation. La Barbastelle d'Europe y est notamment observée régulièrement. Le site est fermé par des grilles.

* Le souterrain du camp militaire de Drachenbronn à Cleebourg (67) : l'entrée principale de ce souterrain n'est pas fermée par une grille mais, étant dans l'enceinte du camp militaire encore en activité, il bénéficie d'une convention entre le Parc et l'Armée et il est reconnu par cette dernière comme site d'hibernation pour les chauves-souris. Une sortie secondaire a été fermée par une grille et un panneau d'information a été placé devant l'entrée principale.

Dans le Pfälzerwald, le programme transfrontalier de conservation des chiroptères dans l'ouest de l'Europe Centrale (Programme cofinancé par l'Union Européenne) a permis la fermeture par grilles de 41 sites d'hibernation au cours de ces 5 dernières années.

Un travail avec l'Armée a permis la mise en protection d'un certain nombre de sites datant de la dernière guerre (Blockhaus et souterrains militaires).

LES NICHOURS

Contrairement aux nichours à oiseaux, ceux utilisés pour les chauves-souris ne servent pas comme gîte de mise-bas, mais uniquement comme lieu de repos diurne et il est donc intéressant de les accrocher près des zones de chasse. Ces nichours sont fabriqués en béton de bois et de nombreux modèles sont disponibles. Ils ne conviennent pas comme sites d'hibernation.

Dans le Naturpark Pfälzerwald, 300 nichours ont été accrochés, voisinant avec plusieurs milliers de nichours à oiseaux qui peuvent être utilisés de temps à autre par les chauves-souris. Pendant les années 1996 à 1998, 737 chauves-souris, représentant 9 espèces, ont pu être observées dans ces nichours. Le tableau 3 présente le bilan de ces observations. Un grand nombre de nichours a été accroché à l'extérieur du Naturpark, dans les forêts de la plaine rhénane, nichours dans lesquels de nombreuses chauves-souris ont pu être observées. Toutefois, depuis 1998, un

nombre croissant de nichoirs est implanté dans les vallées ouvertes du Naturpark, pour offrir des abris aux chauves-souris dans des zones pauvres en arbres creux ou morts. Dans l'avenir, des secteurs faisant la liaison entre les sites d'hibernation et les zones de chasse seront privilégiés pour la pose de nichoirs.

Espèces	Nombre
Grand Murin, <i>Myotis myotis</i>	50
V. de Daubenton, <i>Myotis daubentoni</i>	23
Oreillard roux, <i>Plecotus auritus</i>	99
Oreillard gris, <i>Plecotus austriacus</i>	42
V. de Natterer, <i>Myotis nattereri</i>	40
V. de Bechstein, <i>Myotis bechsteini</i>	281
Pipistrelle commune, <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	14
Noctule commune, <i>Nyctalus noctula</i>	45
Noctule de Leisler, <i>Nyctalus leisleri</i>	143
TOTAL	737

Tableau 3 : Bilan des observations réalisées dans des nichoirs installés dans le Naturpark Pfälzerwald. Période 1996 à 1998.

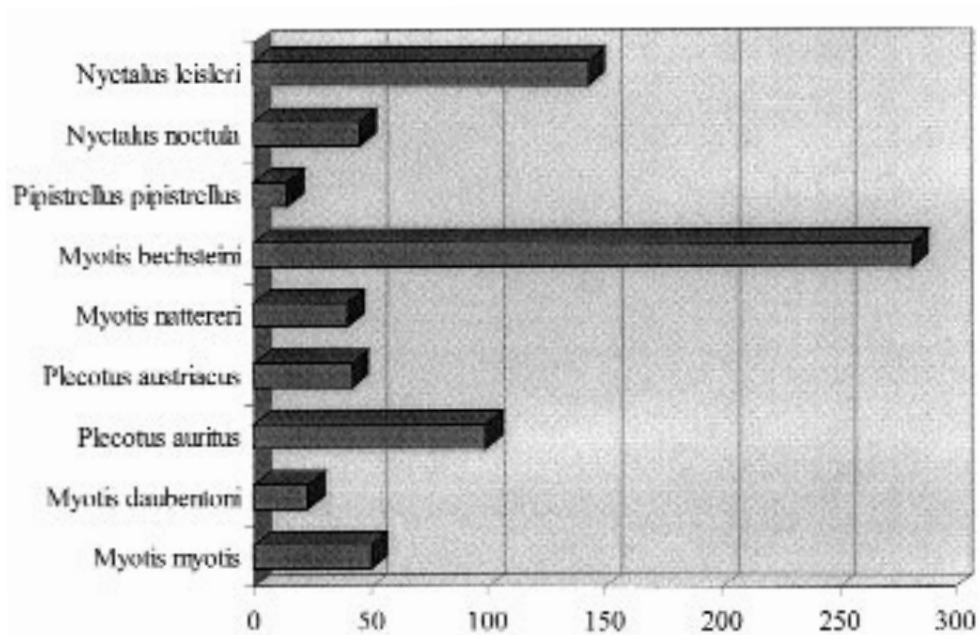


Figure 5 : Bilan des observations réalisées dans des nichoirs installés dans le Naturpark Pfälzerwald. Période 1996 à 1998.

Dans les Vosges du Nord, contrairement aux travaux qui ont été menés dans le Palatinat, très peu de nichoirs ont été installés. En tout, ce sont 6 nichoirs qui ont été accrochés à des arbres dans une clairière à Dambach (67) et ils nous ont permis d'observer, en 3 ans, 4 espèces : la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius, l'Oreillard roux et le Vespertilion de Bechstein.

CONCLUSION

Les différentes investigations et études menées des deux côtés de la frontière, dans la Réserve de la Biosphère transfrontalière des Vosges du Nord et du Pfälzerwald, ont permis de mettre en évidence la présence de 17 espèces de chauves-souris, inégalement représentées. Ce travail d'inventaire a été complété par une mise en protection de plusieurs sites, principalement des sites d'hibernation qui ont été fermés par des grilles adaptées. Cette protection entre dans une démarche plus large de protection des chauves-souris dans l'Europe de l'Ouest, démarche qui a été concrétisée par l'intermédiaire d'un programme LIFE.

Ce travail a pu se mettre en place grâce à la coopération, ces dernières années, entre les bénévoles qui travaillent à la protection des chauves-souris dans les Vosges du Nord et le Pfälzerwald. Cette coopération pourra encore être améliorée, au travers de projets communs et nous espérons ainsi montrer la voie aux autres naturalistes.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement toutes les personnes qui nous ont permis d'accéder aux sites abritant des chauves-souris ainsi que les naturalistes qui nous ont accompagnés dans nos sorties ou nous ont communiqué leurs données.

Pour le Pfälzerwald : Hans KOENIG, Elke REISER et Heinz WISSING.

Pour les Vosges du Nord : Bernard HAMON, Michel RENNER, François SPILL, Michel RAUCH, Marc SCHNEIDER, Jean-Noël LOIREAU, Jean-Claude GENOT, Marc OWALLER, Raphaël SANE, Hugues BECHINAT, Jacqueline et Frédéric SCHNEIDER, Freddy METZINGER, Jean-Luc CHEE, Stéphane CHARLES et Nicolas ORHANT.

Nous remercions également Jochen REITNAUER pour ses traductions qui ont facilité la communication.

BIBLIOGRAPHIE

- DUCHAMP L. 1998. Bilan des connaissances sur les populations de Chauves-souris (*Chiroptera*) du souterrain d'Ingwiller (Bas-Rhin) entre 1983 et 1997. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 6 : 121-133.
- HAMON B. 1989. Première observation de la Noctule de Leisler, *Nyctalus leisleri* (KUHL, 1818) dans le département de la Moselle. *Ciconia* 13 : 147-148.
- HAMON B. 1991. Note sur les populations de chauves-souris dans le souterrain du Ramstein à Baerenthal (Moselle). *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 1 : 25-33.
- HAMON B. 1998. Note : Première observation de la Sérotine de Nilsson, *Eptesicus nilssoni* (KEYSERLING & BLASIUS, 1839) dans le département de la Moselle. *Ciconia* 22 : 78-79.
- HAMON B., GERARD Y., RENNER M. et SCHNEIDER J.F. 1994. Contribution à l'étude des Chauves-souris (*Chiroptera, Mam.*) dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 3 : 95-112.
- HOMMAY G., BAUMGART G. et CARTERON J.S. 1989. Contribution à la connaissance de la répartition de la Sérotine de Nilsson - *Eptesicus nilssoni* (KEYSERLING & BLASIUS, 1839) en France. *Mammalia* 53 : 651-655.
- KETTERING K. 1996. Fledermausquartiere in der Pfalz. Wissenschaftliche Prüfungsarbeit an der Universität Koblenz-Landau. 111 p.
- KÖNIG H. & KÖNIG W. 1995. Ergebnisse einer Untersuchung nistkasten-bewohnender Fledermause in der Nordpfalz. *Nyctalus* (N.F.) 5 : 529-544.
- KÖNIG H. & WISSING H. 1996. Wiederentdeckung der Mopsfeldermaus (*Barbastella barbastellus* SCHREIBER 1774) in der Pfalz (BRD, Rheinland-Pfalz). *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 21 : 41-44.
- REISER E. 1998. Untersuchungen zum Vorkommen und zur Ökologie von *Myotis emarginatus* (GEOFFROY 1806) im südlichen Pfälzerwald. Diplomarbeit an der Universität des Saarlandes. Sarrbrücken. 93 p.
- RENNER M. 1994. Note : Première observation de la Pipistrelle de Nathusius, *Pipistrellus nathusii* (KEYSERLING & BLASIUS, 1839) dans la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 3 : 149-150.

- RENNER M. 1997. Les Chauves-souris (*Chiroptera*, *Mam.*) du Château de Lichtenberg : peut-on concilier leur maintien avec les aménagements du site ? *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 5 : 95-103.
- SCHNEIDER J.-F. et HAMON B. 1997. Note : Observation de la Barbastelle *Barbastella barbastellus*, dans l'église d'Obergailbach (Moselle) *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 5 : 123-124.
- SEILER L. & GRIMM F. 1995. In Burgruinen und Felsspaltender Pfalz (Rheinland-Pfalz, BRD) überwinternde Fledermause (*Mammalia* ; *Chiroptera*). *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 8 : 43-52.
- SKIBA R. 1989. Die Verbreitung der Nordfledermaus, *Eptesicus nilssoni* (KERSERLING & BLASIUS 1939), in der Bundesrepublik Deutschland und der Deutsche demokratischen Republik. *Myotis* 27 : 81-98.
- WISSING H. 1993. Fledermauserfassung im Sommer 1992 und Winter 1992/93 in der Pfalz. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 7 : 220-223.
- WISSING H. 1996. Winterquartiere des Großen Abendseglers (*Nyctalus noctula* SCHREIBER, 1774) in der Pfalz (BRD, Rheinland-Pfalz). *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 21 : 111-118.
- WISSING H. & KÖNIG H. 1994. Ergebnisse der Fledermauserfassung in Nistkästen und Winterquartieren der Pfalz (*Mammalia* ; *Chiroptera*). Sommer 1993 und Winter 1993/94. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 7 : 719-732.
- WISSING H. & KÖNIG H. 1995. Ergebnisse der Fledermauserfassung in Nistkästen und Winterquartieren der Pfalz (*Mammalia* ; *Chiroptera*). Sommer 1994 und Winter 1994/95. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 8 : 65-78.
- WISSING H. & KÖNIG H. 1996a. Wiederfund der Zweifarbfledermaus (*Vespertilio discolor* NATTERER, 1818) in der Pfalz - nach 130 Jahren. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 21 : 51-56.
- WISSING H. & KÖNIG H. 1996b. Zur Verbreitung felsüberwinternder Fledermause (*Mammalia* ; *Chiroptera*) im Regierungsbezirk Rheinhessen-Pfalz (BRD, Rheinland-Pfalz) - Winter 1987/88 bis 1994/95. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 21 : 57-75.
- WISSING H., GRIMM F., KÖNIG H. & SEILER L. 1996. Fledermauserfassung in Nistkästen und Winterquartieren der Pfalz (BRD, Rheinland-Pfalz) - Sommer 1995 und Winter 1995/96. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 21 : 509-522.

Identification de la présence du Lynx boréal (*Lynx lynx* L.) dans les Vosges du Nord par la méthode des pièges à trace

par Éric LE NUZ

Parc Naturel Régional des Vosges du Nord
B.P. 24 - 67290 La Petite-Pierre

Résumé : Faute de disposer de conditions climatiques optimales pour mettre facilement en évidence le statut du Lynx dans les Vosges du Nord, le Syndicat de coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord (Sycoparc) a tenté de valider un protocole de recensement du félin à la fin de l'hiver 1998.

Le protocole, basé sur la combinaison novatrice de plusieurs méthodes, utilise la période de reproduction et les comportements de rut des Lynx pour les attirer et collecter des indices de présence. Il s'agit d'optimiser les chances de passage sur des sites témoins suivis tous les deux jours, en mars-avril, et régulièrement répartis sur l'ensemble des Vosges du Nord.

Malgré l'installation de 23 sites témoins, couvrant plus de 50 000 hectares de forêt, un effort total d'environ 20 000 heures cumulées de surveillance, près de 4 000 kilomètres parcourus et des dizaines de traces d'animaux identifiées, aucun indice de Lynx n'a pu être mis en évidence par ce protocole.

La présente étude ne permet donc pas de se prononcer sur le statut exact du Lynx dans les Vosges du Nord. Mais cette méthode en étant affinée pourrait trouver des applications pour les territoires de plaines français bientôt fréquentés par le félin.

Summary : In the absence of optimal climatic conditions to show the presence of the status of the Lynx in the Northern Vosges, the Syndicate for cooperation in the Northern Vosges Regional Natural Park (Sycoparc) attempted to install a procedure for taking a census of the Lynx at the end of winter of 1998.

The protocol, based on the innovative combination of several methods, uses the reproduction period and the rutting behaviour of the Lynx to attract them and collate evidence of their presence. It is a question of optimising the chance of their passing by observation sites checked every other day, in March and April, and distributed in a regular pattern throughout the Northern Vosges.

Despite the installation of 23 observations sites, covering more than 50,000 hectares of forest, a total effort of an accumulation of around 20,000 hours surveillance, the coverage of more than 4,000 kilometres and dozen of identified animal tracks, no trace of the Lynx had been shown by this procedure.

The present study does therefore not allow a judgement of the exact status of the Lynx in the Northern Vosges. But a refined version of this method could reveal applications for territories on the French plain which are known to be frequented by the Lynx.

Zusammenfassung : Im Ermangelung günstiger Wetterbedingungen zur Erhebung des Luchsbestandes in den Nordvogesen hat Arbeitsverband des Regionales Naturparkes der Nordvogesen (Sycoparc) am Ende des Winters 1998 versucht, ein Protokoll zur Zählung der Luchse zu testen.

Das Protokoll, das auf einer neuen Kombination mehrerer Methoden beruht, nützt die Fortpflanzungszeit und das Paarungsverhalten der Luchse, um ihn anzulocken und Indikatoren seiner Anwesenheit zu sammeln. Es soll diese Wahrscheinlichkeit seiner Besuche an Kontrollstellen optimiert werden. Diese Kontrollstellen sind regelmässig über die gesamten Nordvogesen verstreut und werden im März und April jeden zweiten Tag überprüft.

Trotz der Einrichtung von 23 Kontrollstellen, die über 50.000 ha Wald decken, einem Arbeitsaufwand von insgesamt etwa 20.000 Stunden Überwachung, trotz der fast 4.000 zurückgelegten Kilometer und Dutzender identifizierter Spuren konnte kein Hinweis auf die Anwesenheit des Luchses mittels dieses Protokolls gefunden werden. Die vorliegende Studie erlaubt es daher nicht, Genaueres über den Bestand des Luchses in den Nordvogesen zu sagen. Diese Methode, die noch verfeinert wird, könnte auf den Gebieten der bald von den Luchsen bevölkerten französischen Ebene Ihre Anwendung finden.

Mots clés : Lynx boréal, *Lynx lynx* L., Vosges du Nord, statut, recensement, méthodologie, indice de présence, rut, piège à trace, marquages olfactifs, cris de rut.

INTRODUCTION

Les premiers indices de présence de Lynx boréal (*Lynx lynx*) ont été identifiés dans les Vosges du Nord en 1989 et, en 1993, dans les massifs du Palatinat. L'espèce était donc de retour après avoir été éradiquée au XVII^e siècle par la chasse et le piégeage (VANDEL et WECKER, 1995). L'origine de ce retour reste encore indéfini et, même si les opérations de réintroductions de Lynx dans les «Vosges du Sud» ont pu fournir quelques individus erratiques, il n'est pas exclu que des lâchers clandestins, en Allemagne et/ou en France, ne soient à l'origine d'une partie des Lynx des Vosges du Nord, (VANDEL et WECKER, *op.cit.*).

De 1983 à 1993, 21 Lynx ont été relâchés dans les Hautes-Vosges dont un couple à une cinquantaine de kilomètres au sud de Saverne. Selon l'Office National de la Chasse (VANDEL et WECKER, *op.cit.*), la population des Hautes-Vosges serait issue au maximum de la moitié des individus relâchés. Le suivi télémétrique des Lynx des Vosges du Sud, tant avant qu'après 1989, n'a mis en évidence aucune dispersion d'animaux au Nord du corridor forestier du Col de Saverne. Toutefois, les Lynx peuvent parcourir des distances considérables, notamment les jeunes en quête de nouveaux territoires et il est tout à fait concevable que des échanges entre les deux territoires Vosges du Sud et Vosges du Nord aient eu lieu avant 1989. Quoiqu'il en soit, l'espèce a été présente de façon certaine de 1989 à 1995 dans les Vosges du Nord.

Les réintroductions officielles ont l'énorme avantage de renseigner sur les effectifs et les sexes des animaux lâchés, ce qui facilite grandement le suivi et les études de statut des populations de Lynx par la suite. Aussi, faute de données, la question du statut se pose concernant les individus des Vosges du Nord et du Palatinat en Allemagne.

En fait, si l'origine des Lynx est un sujet d'intense polémique entre détracteurs et défenseurs du félin - mais aussi entre Allemands et Français - il en va de même pour son statut sur cet espace transfrontalier. Force est de constater que le fond du débat entre les différents acteurs et gestionnaires des milieux naturels revient inmanquablement sur le statut réel et actuel de ce superprédateur.

1. PROBLÉMATIQUE ET CHOIX DE LA MÉTHODE

1. 1. Pourquoi étudier le statut du Lynx dans les Vosges du Nord ?

Si les conditions écologiques de survie des Lynx semblent être remplies sur le territoire Vosges du Nord - Palatinat, il n'en va pas de même des facteurs anthropiques et notamment des chasseurs, qui, malgré un travail important de sensibilisation du Sycoparc, restent pour certains d'entre eux, toujours fermement opposés au Lynx (FERREIRA-KOCH, 1998). L'impact du braconnage de Lynx,

favorisé par les modes locaux de chasse dont le tir au mirador, est évidemment très difficile à évaluer et à mettre en évidence, spécialement sur une population animale dont on ignore la dynamique (effectifs et sex-ratio).

Comme le font remarquer VANDEL et WECKER (1995), l'étude du statut du Lynx dans les Vosges du Nord et le Palatinat devient de plus en plus cruciale pour les suites à donner aux renforcements de populations sur l'ensemble du massif vosgien. C'est pourquoi le Sycoparc soutient les actions qui peuvent préciser ce statut sur son territoire et a décidé d'engager la présente étude dont les objectifs principaux sont :

- le dénombrement voire le recensement des individus,
- l'étude de leur répartition sur le territoire et de l'existence d'échanges éventuels avec les Vosges du Sud,
- la mise en évidence d'indices de reproduction.

1. 2. Un contexte géoclimatique local à part

Les populations de Lynx étudiées en France jusqu'à présent, se situent en moyennes montagnes où les altitudes sont relativement élevées, supérieures à 600-700 mètres (Haut-Jura, Hautes-Vosges, Alpes, etc.). Ces altitudes qui permettent souvent un couvert forestier intéressant pour le Lynx, procurent également des conditions d'enneigement favorables à l'étude des grands carnivores, étude basée essentiellement sur les recherches d'indices de présence sur couvert neigeux.

Dans les Vosges du Nord, la situation est différente, les faibles altitudes des massifs forestiers, culminant à 581 mètres avec le Grand Wintersberg, ne permettent pas d'avoir ce couvert neigeux adéquat (régulier et durable). Les méthodes classiques et performantes de pistage sur neige utilisées jusque-là pour le Loup (*Canis lupus*) dans le Parc National du Mercantour voire pour l'Ours brun (*Ursus arctos*) au printemps dans les Pyrénées ou pour les Lynx du Jura, s'avèrent peu appropriées aux Vosges du Nord.

Il se pourrait donc que ce défaut d'enneigement soit à l'origine, entre autres causes, du manque d'indice de présence du Lynx dans les Vosges du Nord. De plus, au vu de l'extension naturelle actuelle du Lynx en France, il pourrait s'avérer très utile d'ici peu de disposer de nouvelles méthodes de recensement du félin dans les massifs forestiers de plaines aux climats peu neigeux. Il serait fâcheux d'être réduit à n'avoir recours, comme élément d'estimation des populations, qu'aux seuls et éventuels dégâts sur les troupeaux domestiques...

1. 3. L'outil Réseau Lynx

Les outils de terrain qui permettent à l'heure actuelle la collecte des informations sur le Lynx sont organisés en un Réseau Lynx, coordonné par l'Office National de la Chasse, qui est également chargé au niveau national d'interpréter ces données. L'Office National de la Chasse tente de retirer le maximum de résultats

des données qui remontent par ce Réseau, ce qui nécessite, pour son bon fonctionnement, des investissements constants en énergie et en temps afin d'assurer son animation.

Si le travail en Réseau est potentiellement la plus efficace des méthodes grâce aux faibles moyens financiers et en personnel spécifiquement requis, il repose sur la bonne volonté des multiples utilisateurs des milieux naturels de se manifester et de bien vouloir communiquer leurs observations. Or malheureusement, on maîtrise rarement les dispositions des populations locales à communiquer sur une espèce aussi controversée que le Lynx. La machine peut alors, hélas, se gripper aisément et la fontaine se tarit, sans que l'on puisse savoir si la source, la population de Lynx, est réellement à sec ou si c'est la canalisation qui fuit...

1. 4. Principe de la méthode envisagée

En plus de sa contribution au Réseau Lynx, le Sycoparc a souhaité pouvoir trouver un moyen d'optimiser les chances de collecter des indices de présence du Lynx. L'idée de base est d'utiliser au maximum les comportements des Lynx, pour obliger les animaux à se manifester.

1. 4. 1. La période du rut

Afin de limiter les risques de rechercher en vain des animaux très cantonnés, le choix de la période du rut, très propice aux déplacements des Lynx a semblé intéressante. Cette période doit permettre également d'attirer l'attention des animaux et de les inciter à fréquenter des sites témoins ponctuels et surveillés, grâce à des stimuli spécifiques comme la vaporisation d'urine de Lynx et la diffusion de cris de rut.

1. 4. 2. Sites témoins et indices recherchés

Le but de la méthode est avant tout d'obtenir des empreintes grâce à des pièges à traces faits de sable et appelés «revoirs». Ceux-ci sont réalisés sur une surface d'au moins 9 m² (3 mètres sur 3), souvent davantage, autour d'éléments naturels remarquables qui pourraient spontanément servir de supports de marquage olfactif pour des Lynx passant à proximité : arbres tordus ou au sol, souches, pierres, tas de bois, etc. Ces revoirs ceinturent parfaitement le support central sur au moins 1,50 mètres de rayon et sont formés de sable ou de sol particulièrement sableux. Ces surfaces supérieures à 10 m² permettent d'obtenir des pistes complètes des animaux ce qui augmente beaucoup la fiabilité des résultats.

Ces sites, équipés de revoir, sont établis en ligne de crêtes, afin de se trouver sur le trajet le plus probable d'un Lynx en déplacement (L. COAT et J.-M. VANDEL, comm. pers.), mais également pour faciliter la dispersion des sons de repasse et l'écoute des cris de rut. Et puisque la découverte spontanée de sites témoins en faible densité par les Lynx pourrait être trop aléatoire, des guidages des animaux vers ces sites sont envisagés.

Un premier guidage à grande distance est effectué grâce à la repasse de cris de rut, pour éveiller l'attention des Lynx se trouvant dans le secteur

(au moins jusqu'à un kilomètre de rayon). La repasse incitant les Lynx à venir chercher les indices de la présence d'un congénère, peut également provoquer une réponse vocale directe d'un Lynx proche. Un deuxième guidage à courte distance, jusqu'à quelques dizaines de mètres, est effectué grâce à des marquages olfactifs artificiels d'urine de Lynx.

Ce sont, en fait, trois sphères concentriques de perception et d'attraction qui sont mises en place sur chaque site :

- la première dimension, la plus vaste est la sphère auditive,
- la deuxième et la troisième sphères agissent à relativement faible distance et peuvent être simultanées, l'une est visuelle, l'autre est olfactive.

Notons que les informations recherchées sont essentiellement des empreintes, mais pourraient aussi être des observations par corps ou bien des contacts auditifs.

2. DESCRIPTION DU PROTOCOLE ET RÉALISATION

2. 1. Zone d'étude et période du suivi

La zone d'étude correspond aux moitiés sud et ouest du Parc naturel régional des Vosges du Nord. La surface totale avoisine les 50 000 hectares dont 2 000 hectares environ en Réserve nationale de chasse et de faune sauvage. Le secteur du Col de Saverne est sans doute très important pour le Lynx puisque lui seul réalise la jonction entre les Vosges du Nord et le reste du massif Vosgien grâce à un corridor forestier large de 4 kilomètres, lui-même traversé par l'autoroute A4. La surface de la zone d'étude est significative, mais semble minimale, en rapport avec les domaines vitaux des Lynx d'une éventuelle population établie (HERRENSCHMIDT et LEGER, 1987).

La surveillance des sites s'est déroulée pendant les nuits du mois de mars 1998. Elle n'a pu avoir lieu plus tôt en février à cause du délai de réalisation des sites témoins. Chaque site a été suivi toutes les deux nuits en moyenne sur toute la durée de la période de rut du Lynx. Le suivi des sites témoins a été réalisé selon deux circuits préalablement fixés et identiques, afin que la moitié des sites (11 ou 12) soit visitée toutes les 48 heures environ.

2. 2. Choix des sites : stratégie, nombre et distribution

La figure 1 présente la carte de répartition des sites témoins sur la zone d'étude, ainsi que les surfaces présumées couvertes par chaque sphère d'attraction auditive (rayon : 1 kilomètre). Ce sont 23 sites témoins, dont le numéro 1 sans marquage olfactif ni sonore, qui ont été réalisés et suivis, chaque site couvrant environ 2 000 à 2 500 hectares. La figure 1 représente également les limites arbitraires des surfaces de 2 500 hectares (rayon : 2,8 kilomètres) que des Lynx sont susceptibles de fréquenter pendant plusieurs jours et sur lesquelles ils ont une probabilité a priori non négligeable de rentrer en contact avec un site témoin. La surface globale couverte par le cumul des zones d'influence des sites est de 50 000 hectares environ.

Les axes principaux des lignes de crêtes ont eu la préférence pour l'installation des sites et notamment les cols ou les intersections de ces lignes. Un éloignement suffisant par rapport aux habitations et voies principales de circulation routière est également indispensable pour la tranquillité et pour limiter les risques de collisions. Le choix est cependant effectué en fonction de l'accessibilité des sites en véhicule par les voies forestières carrossables en hiver, permettant un accès rapide et silencieux. Chaque site s'intègre dans deux itinéraires, longs d'environ 150 kilomètres chacun.

Le choix de l'emplacement du centre du piège à trace lui-même a été réalisé directement sur le terrain : il devait être remarquable d'assez loin même de nuit et attirer l'attention de l'animal lorsqu'il cherche à marquer son territoire.

Le passage à grande faune équipant l'autoroute, placé en ligne de crête, a semblé suffisamment stratégique pour être suivi de manière particulière. Toutefois, pour ne pas influencer les déplacements et les comportements territoriaux, le suivi a été réalisé sans utilisation de marquages olfactifs et auditifs.

2. 3. Réalisation des sites témoins

Les futaies, anciennes ou d'âge moyen, ont été recherchées pour l'implantation des sites parce qu'elles favorisent la perception visuelle des sites témoins et permettent une meilleure diffusion des marquages olfactifs et sonores. Dans certaines parties des Vosges du Nord, le sol est très riche en sable provenant du substrat gréseux et l'apport de sable de quartz du commerce n'y a pas été jugé nécessaire.

On distingue donc deux catégories de revoirs, naturels ou artificiels, selon la nature de leur matériau-substrat de base.

La réalisation d'un revoir commence par l'évacuation de la litière jusqu'à obtenir une surface plane et homogène, les qualités du substrat sont améliorées en retirant racines et cailloux. Puis on recouvre le sol de textile pour pouvoir étaler le sable dessus en une couche de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Sur le site de la passerelle à gibier au-dessus de l'autoroute, un revoir de 25 m² est aménagé de manière à être un passage obligé pour franchir cette passerelle. La couche sableuse est mise à nue et décompactée pour donner un revoir parfaitement intégré au site.

2. 4. Informations relevées

Sur chaque site et à chaque visite, ont été relevés :

- * à partir des traces sur le revoir :
 - le nombre de pistes de chacune des espèces,
 - les comportements observés (marquage, simple passage),
 - la lisibilité des traces ;
- * à partir des observations lors de la visite (phases d'écoute et de repasse) :
 - le nombre d'individus de chaque espèce entendue ou vue,
 - le comportement observé en réaction aux cris de Lynx (fuite, alerte, passivité,...) ;

* les conditions météorologiques des jours précédents la visite et la durée estimée de l'échantillonnage en cas d'intempéries ;

* d'autres types d'observations et remarques.

2. 5. Matériel utilisé

En plus du véhicule disponible toutes les nuits pour parcourir 150 kilomètres et d'une lampe frontale, ont été nécessaires :

- un magnétophone puissant pour diffuser les cris de rut ;
- des sons de cris de rut du Lynx boréal enregistrés par F. DEROUSSIN (Nashvert Production) au Zoorama de Chizé ;
- 3 litres d'urine de Bobcat ou Lynx roux (*Lynx rufus*) - seule substance connue pouvant servir à des marquages artificiels - en provenance des USA et un vaporisateur ;
- du sable de quartz calibré pour réaliser un support uniforme pour les pièges à traces et obtenir des résultats très fins permettant la mesure des empreintes de Lynx et leur comparaison ;
- du voile de forçage pour isoler le sable de l'humus ;
- des rateaux pour aménager les revoirs et pour effacer les traces ;
- une lampe torche puissante permettant une lecture fiable des empreintes et d'identifier les animaux se trouvant aux alentours ;
- un vaporisateur pour humidifier le sable lorsqu'il est trop sec et du gros sel à mélanger au sable pour qu'il reste fonctionnel en cas de gel.

2. 6. Déroulement des relevés

Le départ de la tournée se fait dès la nuit tombée, entre 20 et 21 heures, et le retour, entre 5 et 7 heures le lendemain matin, en fonction du temps mis au décriptage des traces. Ces tournées comportent 11 ou 12 sites et, sur chaque site et pour chaque visite, le protocole est le même, à savoir :

- arrivée sur site après 15 minutes de trajet pour venir du précédent,
- 3 à 5 minutes d'écoute pour vérifier qu'aucun Lynx ne crie déjà,
- inventaire des traces des différentes espèces, pendant 5 à 10 minutes, parfois 20-25 minutes lorsque les pistes sont particulièrement complexes,
- simultanément ou non, sont diffusés des cris de rut pendant 10 minutes environ, en regardant régulièrement autour de soi pour vérifier qu'aucun Lynx ne se présente,
- aspersion du centre-support du site témoin avec de l'urine de Bobcat,
- nettoyage des revoirs à l'aide d'un rateau ou de branches, pour effacer les traces mais aussi pour décompacter le substrat,
- humidification du sable s'il est devenu trop sec et trop meuble,

- puis pour finir, une nouvelle écoute de 5 minutes pour une réponse éventuelle d'un Lynx. Et à nouveau, 10-15 kilomètres vers le site suivant...

Le passage à grande faune de l'autoroute ne fait que l'objet d'un inventaire complet des traces et d'un nettoyage consciencieux.

3. RÉSULTATS

La mise en place des sites n'a pu être achevée que le 8 mars 1998. De même, pour des contraintes matérielles, la surveillance n'a été effectuée que par un observateur unique, elle requiert de bonnes connaissances pratiques des indices de présence de la faune.

Pendant la période allant du 9 mars 1998 au 11 avril 1998, 29 nuits de prospection ont été réalisées. Sachant que chaque site a été suivi toutes les deux nuits en moyenne, tous les sites ont fait l'objet d'environ 14 vérifications-inventaires.

Aucun indice de présence de Lynx boréal n'a pu être mis en évidence sur aucun site témoin pendant la période d'étude.

Pendant, parmi les résultats, et en négligeant les empreintes de trop petites tailles ou difficilement déterminables (micromammifères,...), les traces suivantes ont été relevées :

ESPECES SAUVAGES	Nombre de pistes	AUTRES	Nombre de pistes
Chevreuils (<i>Capreolus capreolus</i>)	57	Hommes	322
Renards (<i>Vulpes vulpes</i>)	158	Véhicules	77
Sangliers (<i>Sus crofa</i>)	64	Chiens	69
Blaireaux (<i>Meles meles</i>)	68	Cavaliers	8
Cerfs élaphe (<i>Cervus elaphus</i>)	13		
Chats (<i>Felis silvestris</i> et sp.)	4		
Oiseaux sp.	56		
Lièvres (<i>Lepus europeaus</i>)	2		
<i>Martes sp.</i>	3		

Tableau 1 : Détail des traces relevées sur les sites témoins.

- Cumul total des heures de surveillance : 15 456 heures, (=somme sur l'ensemble des sites (n=23) des durées moyennes de collectes des indices (48 h) pour 14 vérifications-inventaires par site).

- Cumul des distances parcourues en voiture la nuit : 4 000 kilomètres environ.

Ce protocole a, en outre, permis d'observer les réactions des autres animaux par rapport aux indices de présence de Lynx. De nombreux animaux sauvages ont fréquenté les revoirs aménagés des sites témoins, qui n'étaient donc pas aussi effarouchant qu'on aurait pu le penser. Chevreuil, Cerf et même Chat sauvage sont venus visiter ces sites - pas toujours bien intégrés à l'environnement - par curiosité sans doute, ou pour les marquer à leur tour comme dans le cas du Renard.

D'après l'expérience de terrain, il apparaît que les Chevreuils s'habitueraient rapidement aux indices de présence de «Lynx» et aux dérangements sans fuir. Au bout de quelques heures seulement, ceux-ci viennent renifler les traces d'urine et après la deuxième ou troisième nuit, ils cessent d'aboyer et restent parfaitement calmes lors des visites de l'observateur. Sur 22 jours de comptage, le nombre total des visites de Chevreuils est de 43, donnant un nombre moyen de passage de 2,68, pour les 16 sites fréquentés au moins une fois par l'espèce ; sur un total de 22 sites témoins, 6 sites ont été visités 2 fois et 7 sites, 3 fois.

4. DISCUSSION

L'absence totale d'indice de présence de Lynx pour un protocole aussi lourd et une pression d'observation relativement forte tendraient à montrer que la densité sur la zone d'étude est très faible (voire nulle). Toutefois, ces résultats sont à mettre en balance avec deux observations de Lynx, classées probables par le Réseau Lynx et réalisées par des tiers postérieurement au présent protocole : une, près de La Petite-Pierre le 14 mai 1998, et l'autre, à proximité de Wineckerthal à la fin mai.

Ces observations correspondraient-elles à des conditions plus favorables de contact avec les adultes (intensification des déplacements à cause de la durée des nuits plus courtes ou de l'élevage des nouveau-nés) ou bien avec des jeunes moins discrets à la recherche de nouveaux territoires ?

4. 1. S'agissant du protocole

En fait, il serait maintenant tout à fait indispensable de tester et de valider ce protocole sur un territoire où la présence de Lynx est avérée certaine et durable. Cela permettrait de pouvoir apprécier les performances des techniques employées et d'estimer la pertinence des résultats de cette étude et ainsi peut-être tenter de répondre à la plupart des questions que ce chapitre pose aujourd'hui. Mais nous pouvons d'ores et déjà émettre quelques remarques sur certains éléments du protocole.

- La qualité et la fiabilité de la collecte des indices de présences semble bonne dans l'ensemble et les sables naturels hétérogènes des Vosges du Nord constituent un excellent support pour la lecture des traces même si les résultats sont moins fins que pour les sites témoins artificiels. Toutefois les intempéries, le gel et surtout les pluies, fréquents en cette saison sont des contraintes non négligeables pouvant faire perdre des heures de surveillance.

- Concernant la qualité des techniques d'attraction, comment expliquer que les Lynx, s'il y en a, aient sillonné leur territoire sans entrer en contact avec aucun site témoin ?

L'urine de Bobcat (*Lynx rufus*) semble être la meilleure substance connue, facile et rapide d'acquisition, pouvant servir à attirer les Lynx grâce à des marquages territoriaux artificiels. De plus, on peut supposer que l'urine de Lynx roux, plus petit en taille que le Lynx boréal, puisse avoir un impact beaucoup plus faible sur les comportements territoriaux des *Lynx lynx* vosgiens que de l'urine de la même espèce. L'effet recherché serait alors atteint doublement : intriquer les Lynx, en les perturbant le moins possible. Toutefois, il aurait fallu aménager les sites témoins avant début mars, voire en décembre-janvier, cela permettant aux animaux de s'y accoutumer pendant trois mois.

Sur le plan technique, l'emploi de diffuseur olfactif et auditif permanent et automatique (toutes les 20 minutes par exemple), couplé à des systèmes de piègeages photographiques, pourraient nettement améliorer la fiabilité de cette méthode.

- Intensifier la pression de recherche, tout en restant uniforme, en passant à une répartition d'un site revoir pour chaque 1 000 ou 1 500 hectares de forêt devraient améliorer le protocole. L'augmentation de la densité des sites témoins et leur vérification très fréquente, une à deux fois par jour, pourraient affiner les résultats en conservant une bonne lisibilité des revoirs face aux intempéries et au cumul de traces.

Il pourrait même être envisagé d'entretenir les sites témoins pendant toute l'année et d'augmenter leur nombre jusqu'à un ou deux pour 500 ou 800 hectares, afin d'obtenir un réseau encore plus dense et plus performant.

4. 2. Analyse critique des résultats

4. 2. 1. Aucun indice de présence de Lynx

Si la saison du rut comme période d'étude semble fondée, la critique la plus justifiée est la mise en place tardive du protocole d'étude (mi-mars au lieu de mi-février), mais il ne faut pas négliger l'hypothèse que des femelles encore suivées n'aient pas répondu, ni été attirées. Toutefois, plusieurs autres causes locales pourraient contribuer à expliquer l'absence d'indice de Lynx dans les Vosges du Nord, et notamment, des comportements différents de ceux observés dans le Jura et sur lesquelles s'est appuyée la mise au point de ce protocole, tel que :

- précocité de la période du rut (facteurs biotiques ou abiotiques),
- méfiance accrue due aux relations locales tendues avec l'homme,
- population très cantonnée au Nord des Vosges du Nord et au Palatinat (ÖKO-LOG, 1998), voire aucune population établie côté français,
- des Lynx de passage uniquement et/ou très peu nombreux, à cause du braconnage ou d'autres facteurs.

D'autre part, on pourrait aussi discuter de l'influence des faibles densités et faibles effectifs de cette population de Lynx, à la fois, sur les probabilités de découverte des revoirs et sur les comportements des individus. Augmentent-ils les besoins de recherche de partenaires - favorisant le contact des sites témoins, ou bien le contraire ?

Mais d'autres questions se posent encore. Les territoires forestiers des Vosges du Nord sont très accessibles au public ; et les fréquentations automobile, touristique et par les locaux (marcheurs, VTT, bûcherons,...), y sont intenses et constantes. Comment expliquer l'absence totale de «contact» de Lynx avec la population humaine - et de collision avec des automobiles - parcourant très régulièrement ces milieux ? En effet, il semble que dans les régions de France où des populations de Lynx sont bien établies, le nombre des observations n'est jamais - et ne pourrait pas être - aussi faible que dans les Vosges du Nord.

Cette rareté extrême des indices de présence de Lynx, que renforce la présente étude, semble bien indiquer qu'aucune population de Lynx n'est établie durablement sur la majeure partie des Vosges du Nord.

4. 2. 2. Concernant les résultats annexes

Les résultats concernant la fréquentation des revoirs par le Chevreuil ne sont pas incompatibles avec ceux de LIBEREK (1992), concernant l'impact des indices de présence de Lynx étudiés sous forme de parcours-crottes. D'après cette expérience, les Chevreuils semblent éviter les quelques dizaines de mètres autour de l'indice (crotte), mais cela ne signifie pas que les cervidés ne soient jamais entrés en contact direct avec l'indice. Dans le cas du présent protocole, certains Chevreuils - sinon tous - viennent régulièrement visiter le site pour fleurer directement les traces d'urine. Les Chevreuils, assez curieux, viendraient donc se tenir régulièrement au courant des odeurs laissées, tout en sachant qu'il ne faut pas s'y attarder. Il en va de même pour les Renards qui semblent bien faire des détours pour visiter les sites témoins, et en profiter pour y renforcer leurs marquages territoriaux.

4. 3. Quelques perspectives

Suite à de plus amples tests et validation, il pourrait être envisagé de créer un réseau dense de sites témoins tel que suggéré dans les paragraphes précédents. Toutefois, seules des structures importantes comme l'ONC ou l'ONF semblent être en mesure de répondre à l'investissement lourd en temps et en personnel que demandent l'entretien et le suivi régulier de ces sites.

Toutefois, l'impérieuse nécessité du recensement de la population de Lynx qui vise essentiellement aujourd'hui à calmer le jeu des opposants au Lynx, pourrait complètement perdre de son intérêt si les conflits pouvaient s'apaiser.

En effet, le suivi de la répartition du Lynx, la résolution des problèmes mais aussi la sensibilisation des publics, demanderaient dès aujourd'hui la création d'une structure adéquate limitant et rassemblant les interlocuteurs, en permettant la

synergie des efforts. L'objectif en serait que tous puissent réfléchir ensemble à l'avenir du Lynx dans les Vosges du Nord, le Palatinat et sur l'ensemble du massif vosgien, au sein d'un groupe formel de travail, réunissant les différents utilisateurs et gestionnaires des milieux naturels, pour poser les problèmes et régler les conflits, avant toute chose, autour d'une table.

CONCLUSION

Les résultats concernant le statut du Lynx qu'offre la présente étude dans les Vosges du Nord sont réduits, notamment parce que la méthode utilisée demande à être validée dans des régions où le Lynx est bien présent. Aucun indice de reproduction n'a pu être mis en évidence et seules ont pu être observées des informations concernant les réactions de la faune locale à des indices artificiels de présence de Lynx.

Cette étude semble montrer l'absence d'établissement durable du Lynx dans les trois-quarts sud et ouest du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, mais prouve une fois de plus la difficulté importante rencontrée face aux nécessités de recensement des populations de grands animaux.

Aussi nous ne pouvons exclure que des animaux pourraient être présents :

- soit isolés et cantonnés dans des zones très tranquilles, donc très rarement observés (la frontière avec le Palatinat, terrain militaire de Bitche,...),

- soit de façon erratiques, et les quelques observations correspondraient alors à des Lynx de passage, cherchant ou émanant d'une population fixée plus au Nord, dans le Palatinat par exemple, mais qui semblent ne pas vouloir - ou pouvoir ? - s'établir durablement dans les Vosges du Nord.

Le Lynx, qui représente aujourd'hui bien plus un indicateur de psychosociologie humaine qu'une preuve d'équilibres naturels des milieux, poursuit petit à petit son retour en France. De nouvelles méthodes de recensement du félin, telles que celle évoquée dans ce travail, pourraient rapidement devenir nécessaire dans les massifs forestiers de plaines. Mais plus encore, la question qui se pose dans les Vosges du Nord et ailleurs est de savoir si nous saurons ménager une place durable au Lynx à nos côtés en gage de notre respect de la nature et de notre tolérance.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements au personnel de l'Office National de la Chasse dont Philippe STAHL, François WECKER et surtout à Jean-Michel VANDEL pour m'avoir conseillé, avoir pris le temps de répondre à mes questions et avoir relu mon texte.

Je remercie chaleureusement Loïc COAT pour m'avoir communiqué ses connaissances de terrain sur le Lynx.

Merci encore à Fernand DEROUSSEN, pour les enregistrements de chants de Lynx gracieusement fournis, à François LÉGER et à Jean-Jacques CAMARRA pour leurs conseils. Je remercie aussi toute l'équipe du Sycoparc, ainsi que les services de l'Office National des Forêts pour leur collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

- FERREIRA-KOCH D. 1998. Les éleveurs et les chasseurs des Vosges du Nord et leurs relations au Lynx (*Lynx, lynx*). Image et place de l'animal dans notre société. *Ann. Sci. Rés. Bios. Vosges du Nord* 6 : 77 - 94.
- HERRENSCHMIDT V. et LEGER F. 1987. Le Lynx, *Lynx, lynx* (L) dans le nord-est de la France. La colonisation du massif jurassien français et la réintroduction de l'espèce dans le massif vosgien. Premiers résultats. *Ciconia* 11 (2) : 131-151.
- LIBEREK M. 1992. Analyse du peuplement du Lynx dans le Jura Vaudois : première approche de l'influence de ce prédateur sur les populations d'ongulés. Université de Neuchâtel, Institut de Zoologie. 99 p.
- ÖKO-LOG, FREILANDFORSCHUNG. 1998. Der Luchs im Pfälzerwald. Ministeriums für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz. 66 p.
- VANDEL J.M. et WECKER F. 1995. Présence actuelle du Lynx (*Lynx lynx*) dans le massif des Vosges du Nord (France) et la Palatinat (Allemagne). *Ciconia* 19 (3) : 133-144.



Le Lynx n'a pas encore une population établie dans les Vosges du Nord.

(Photo J.-L. KLEIN)

Annales scientifiques

de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord

RAPPEL DU SOMMAIRE DU TOME 6 (1997-1998)

Editorial	4
Composition du Conseil Scientifique	5
M. HOFFSESS - Schémas communaux de gestion des espaces naturels et gestion écologique des friches dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord	7 - 13
F. GRÉVILLIOT et S. MULLER - Gestion écologique des friches humides (Dambach et Baerenthal) par les bovidés rustiques (Highland Cattle) : impact sur la flore	15 - 36
Y. MULLER - Gestion écologique des friches humides (Dambach et Baerenthal) par les bovidés rustiques (Highland Cattle) : impact sur l'avifaune nicheuse	37 - 48
R. LEBORGNE et A. PASQUET - Gestion écologique des friches humides (Dambach et Baerenthal) par les bovidés rustiques (Highland Cattle) : impact sur les peuplements d'araignées.	49 - 68
S. MULLER, F. GRÉVILLIOT, R. LEBORGNE, A. PASQUET et Y. MULLER - Synthèse du suivi scientifique de la gestion écologique des friches humides des Vosges du Nord par pâturage de bovidés rustiques (Highland Cattle).	69 - 75
D. FERREIRA - KOCH - Les éleveurs et les chasseurs des Vosges du Nord et leurs relations au Lynx (<i>Lynx lynx</i>). Image et place de l'animal dans notre société	77 - 94
V. DOMBROVSKI - Dénombrement des rapaces diurnes dans la partie sud de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord	95 - 112
V. DOMBROVSKI - La Pie-grièche à tête rousse (<i>Lanius senator</i>) dans la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord	113 - 120
L. DUCHAMP - Bilan des connaissances sur les populations de chauves-souris (<i>Chiroptera</i>) du souterrain d'Ingwiller (Bas-Rhin) entre 1983 et 1997	121 - 133
S. MULLER - Aperçu des phytocénoses de la Réserve de Biosphère de Bérézinsky (Biélorussie). Comparaisons biogéographiques avec les Vosges du Nord.	135 - 149
L. PERRETTE - Inventaire des Lépidoptères de certains sites remarquables de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord. Seconde étude	151 - 177
M. RENNER - Inventaire des amphibiens et reptiles des étangs-tourbières de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord	179 - 193

Annales scientifiques

de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord

TOME 7 – 1999

SOMMAIRE

Editorial	4
Composition du Conseil Scientifique	5
M. BRUCIAMACCHIE, G. GRANDJEAN, F. BEDEL et R. PIERRAT - Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord :	7 - 34
G. BAILLY - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : peuplements et biodiversité végétale :	37 - 53
P. FOUILLET - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'entomofaune :	55 - 74
I. BLEICHNER et L.-M. NAGELEISEN - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des fourmis rouges :	75 - 78
Y. MULLER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'avifaune :	79 - 91
L. DUCHAMP, J.-F. SCHNEIDER et B. HAMON - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des chauves-souris :	93 - 101
F. KLEIN, P. HEUZE et P. BROSSIER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des forêts en tant qu'habitat des cervidés :	103 - 117
G. LANDMANN et S. MULLER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord. Synthèse et conclusions générales :	119 - 133
T. BAHUTSKAYA - Etude des populations de micromammifères dans différents habitats de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord :	135 - 144
J.-F. SCHNEIDER, F. GRIMM, L. DUCHAMP et L. SEILER - Les chauves-souris dans la Réserve de la Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald :	145 - 160
E. LE NUZ - Identification de la présence du Lynx boréal (<i>Lynx lynx</i> L.) dans les Vosges du Nord par la méthode des pièges à trace :	161 - 175

Annales scientifiques

de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord

TOME 7 – 1999

SOMMAIRE

Editorial	4
Composition du Conseil Scientifique	5
M. BRUCIAMACCHIE, G. GRANDJEAN, F. BEDEL et R. PIERRAT - Comparaison de différents indices de mesure de la diversité dans deux massifs forestiers des Vosges du Nord :	7 - 34
G. BAILLY - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : peuplements et biodiversité végétale :	37 - 53
P. FOUILLET - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'entomofaune :	55 - 74
I. BLEICHNER et L.-M. NAGELEISEN - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des fourmis rousses :	75 - 78
Y. MULLER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude de l'avifaune :	79 - 91
L. DUCHAMP, J.-F. SCHNEIDER et B. HAMON - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des chauves-souris :	93 - 101
F. KLEIN, P. HEUZE et P. BROSSIER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord : étude des forêts en tant qu'habitat des cervidés :	103 - 117
G. LANDMANN et S. MULLER - Biodiversité et gestion forestière. L'exemple des Vosges du Nord. Synthèse et conclusions générales :	119 - 133
T. BAHUTSKAYA - Etude des populations de micromammifères dans différents habitats de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord :	135 - 144
J.-F. SCHNEIDER, F. GRIMM, L. DUCHAMP et L. SEILER - Les chauves-souris dans la Réserve de la Biosphère transfrontalière Vosges du Nord - Pfälzerwald :	145 - 160
E. LE NUZ - Identification de la présence du Lynx boréal (<i>Lynx lynx</i> L.) dans les Vosges du Nord par la méthode des pièges à trace :	161 - 175