

Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation de la Pêche et des Affaires Rurales

ECOLE **N**ATIONALE d'**I**NGÉNIEURS des **T**RAVAUX **A**GRICOLES de **B**ORDEAUX
1, cours du Général de Gaulle – BP 201 – 33175 GRADIGNAN cedex

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur des Techniques Agricoles

EVALUATION ET AMELIORATION DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ POUR UNE GESTION FORESTIÈRE DURABLE

-

APPLICATION A LA FORET DES LANDES DE GASCOGNE

GOULVEN Rozennik

Option : Gestion Intégrée des Agroécosystèmes et des Forêts

Etude réalisée à : INRA Pierroton, Cestas (33)
Laboratoire d'entomologie forestière

Maître de stage : Hervé JACTEL

- 2004 -

Projet **FORSEE** www.iefc.net

Projet cofinancé par l'Union Européenne
Initiative Communautaire FEDER
INTERREG IIIB *Espace Atlantique*



Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation de la Pêche et des Affaires Rurales

ECOLE **N**ATIONALE d'**I**NGÉNIEURS des **T**RAVAUX **A**GRICOLES de **B**ORDEAUX
1, cours du Général de Gaulle – BP 201 – 33175 GRADIGNAN cedex

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur des Techniques Agricoles

**EVALUATION ET AMELIORATION DES INDICATEURS DE
BIODIVERSITÉ POUR UNE GESTION FORESTIÈRE DURABLE**

-

APPLICATION A LA FORET DES LANDES DE GASCOGNE

GOULVEN Rozennik

Option : Gestion Intégrée des Agroécosystèmes et des Forêts

Etude réalisée à : INRA Pierroton, Cestas (33)
Laboratoire d'entomologie forestière

Maître de stage : Hervé JACTEL

- 2004 -

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement mon maître de stage, Hervé Jactel, directeur de recherche au laboratoire d'entomologie forestière de l'INRA de Cestas, pour son accueil. En effet, il a su me guider et me donner tous les moyens nécessaires pour que mon stage se déroule dans les meilleures conditions.

Je remercie également Luc Barbaro pour sa disponibilité et les conseils qu'il a pu me donner pour le bon déroulement de l'étude.

Enfin, je tiens à remercier aussi Dominique, Fabrice, Pierre, Inge, Carole et Jean-Pierre pour leur accueil chaleureux.

RESUME – ABSTRACT

Le maintien de la biodiversité permettrait aux écosystèmes de mieux résister aux perturbations. Lors de la CMPFE de Vienne, il a ainsi été défini une liste d'indicateurs permettant d'évaluer la diversité forestière. Cependant, leur pertinence n'a pas été testée en conditions réelles. Ainsi, ce travail a pour objectif d'évaluer ces indicateurs et de les améliorer, en se basant sur les principes de dynamique de la biodiversité. Pour cela, nous utilisons le SIG afin de cartographier des zones d'études avec deux typologies : l'une intégrant les indicateurs de Vienne, l'autre des variables de structure et de composition du peuplement. Ces typologies ont permis de générer deux jeux de données d'attribution de parcelles et d'indices de structures de paysage, corrélés ultérieurement avec les richesses de quatre groupes taxonomiques (carabes, oiseaux, araignées et plantes). Les résultats montrent que les indicateurs de Vienne sont globalement pertinents. Cependant, ils ne permettent pas d'estimer les richesses des quatre taxons sur l'ensemble des zones d'étude. En revanche, les richesses spécifiques sont bien corrélées avec le couplage de variables de structure et de composition du paysage et du peuplement. Cette étude a donc donné de nouvelles pistes pour le développement d'indicateurs d'évaluation de la biodiversité pertinents et facilement utilisables.

Mots-clés : indicateurs / biodiversité / forêt de plantation / méthodologie d'évaluation /

Maintenance of biodiversity is a key factor to enhance forest ecosystem resistance to perturbations. Indicators have been proposed by the MCPFE to monitor forest diversity. But their relevance has not been tested in real conditions. The objective of this study was to evaluate their reliability and eventually to propose a new set of improved indicators, based on the main drivers of biodiversity dynamics. We used GIS data to map several forest landscapes. Two land-use cover typologies were applied: one made from the Vienna indicators and the other using structural and compositional stand variables. They were used to generate two sets of stand attributes and landscape pattern indices that were further tested for their correlation with the species richness of four taxonomic groups. Overall, Vienna indicators were reliable but they were not able to predict the species richness of all taxa in the different study areas. By contrast, the species richness of birds, carabids, plants and spiders was consistently correlated with the same combination of five indicators corresponding to compositional and structural variables at the stand and landscape scales. This study provided new insights in the development of user's friendly indicators for biodiversity evaluation in forest.

Key-words : indicators / biodiversity / plantation forests / evaluation method /

Title : Assessment and improvement of the biodiversity indicators for a sustainable forest management - Application to the Landes de Gascognes forest

TABLE DES MATIÈRES

RESUME – ABSTRACT.....	4
TABLE DES MATIÈRES.....	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	6
GLOSSAIRE.....	8
LISTE DES ABRÉVIATIONS	9
INTRODUCTION.....	1
<u>CHAPITRE 1 : CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....</u>	<u>2</u>
<u>1.1 LA GESTION DURABLE DES FORÊTS ET SON ÉVALUATION.....</u>	<u>2</u>
1.1.1 Naissance du développement durable et de son application forestière.....	2
1.1.2 Moyens d'évaluation de la gestion durable des forêts.....	2
1.2 LE PROJET FORSEE : MISE EN ŒUVRE DE LA GESTION DURABLE DES FORETS	3
1.2.1 Présentation générale du projet et de ses objectifs.....	3
1.2.2 Moyens mis en œuvre pour répondre aux objectifs.....	3
1.3 LE TRAVAIL DU GROUPE D'ÉTUDE « BIODIVERSITÉ » DU PROJET FORSEE.....	4
<u>CHAPITRE 2 : OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....</u>	<u>6</u>
2.1 EVALUATION DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ PROPOSÉS À VIENNE	6
2.2 AMÉLIORATION DU SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ.....	7
<u>CHAPITRE 3 : DÉMARCHE UTILISÉE.....</u>	<u>8</u>
3.1 PRÉSENTATION GLOBALE DE LA DÉMARCHE UTILISÉE.....	8
3.2 CHOIX ET PRÉSENTATION DES ZONES D'ÉTUDES.....	8
3.3 CARTOGRAPHIE DES ZONES D'ÉTUDES.....	9
3.3.1 Cartographie des types écologiques.....	9
3.3.2 Cartographie des zones à l'aide des deux typologies étudiées.....	11
3.3.2.1 Présentation de la typologie « Vienne ».....	11
3.3.2.2 Présentation de la typologie « Habitat ».....	12
3.3.2.3 Correspondances avec la liste des types écologiques.....	13
3.4 ÉCHANTILLONNAGE DE LA BIODIVERSITÉ SUR LES ZONES D'ÉTUDES.....	15
3.4.1 Choix des parcelles utilisées pour réaliser l'étude.....	15
3.4.2 Méthode d'échantillonnage de la biodiversité.....	15
3.4.2.1 Méthode d'échantillonnage des oiseaux.....	16
3.4.2.2 Méthode d'échantillonnage des coléoptères carabiques.....	16
3.4.2.3 Méthode d'échantillonnage des araignées.....	16
3.4.2.4 Méthode d'échantillonnage des plantes vasculaires.....	16
3.5 OBTENTION DE DONNÉES QUANTITATIVES À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE.....	16
3.5.1 Données mesurées sur le terrain.....	16
3.5.2 Données calculées à partir de la cartographie.....	17
3.6 OBTENTION DE DONNÉES QUANTITATIVES À L'ÉCHELLE DU PAYSAGE.....	17
3.6.1 Transformation en grille ASCII et extraction des buffers.....	17
3.6.2 Choix et présentation des indices calculés.....	18
3.7 ANALYSE DES DONNÉES OBTENUES.....	21
3.7.1 Récapitulatif des données à analyser.....	21
3.7.2 Corrélations entre les richesses des taxons.....	23
3.7.3 Effets des variables qualitatives sur la richesse des taxons.....	23
3.7.4 Corrélations entre richesses des taxons et variables quantitatives.....	23
3.7.5 Recherche d'un modèle explicatif de la richesse des taxons	23
<u>CHAPITRE 4 : RÉSULTATS OBTENUS.....</u>	<u>24</u>
4.1 CORRÉLATIONS ENTRE LES RICHESSES DES TAXONS.....	24
4.2 EFFETS DES VARIABLES QUALITATIVES SUR LES RICHESSES DES TAXONS.....	24
4.3 CORRÉLATIONS ENTRE RICHESSES DES TAXONS ET VARIABLES QUANTITATIVES.....	25
4.4 MODÈLE EXPLICATIF DE LA RICHESSE DES TAXONS.....	26

4.4.1 Meilleur modèle obtenu avec les variables issues de la typologie « Vienne ».....	26
4.4.2 Meilleur modèle obtenu avec les variables issues de la typologie « Habitat ».....	27
CHAPITRE 5 : DISCUSSION ET CONCLUSION.....	28
5.1 EVALUATION DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ PROPOSÉS À VIENNE.....	28
5.1.1 Coût de renseignement des indicateurs.....	28
5.1.2 Faisabilité des indicateurs.....	29
5.1.3 Pertinence des indicateurs.....	29
5.1.3.1 Pertinences individuelles des indicateurs.....	29
5.1.3.2 Pertinence des combinaisons d'indicateurs.....	31
5.2 COMPARAISON DES INDICATEURS DE VIENNE À CEUX DE LA TYPOLOGIE HABITAT.....	32
5.2.1 Comparaison des indicateurs pris individuellement.....	32
5.2.2 Comparaison des deux meilleurs modèles obtenus.....	32
5.2.3 Amélioration de l'indicateur « Organisation du paysage ».....	33
5.3 APPORTS DE CETTE ÉTUDE.....	34
5.4 PERSPECTIVES.....	35
BIBLIOGRAPHIE.....	36
ANNEXES.....	38

TABLE DES ILLUSTRATIONS

- **Liste des figures**

FIGURE 1 RÉALISATION D'UNE CARTE DES TYPES ÉCOLOGIQUES À PARTIR D'UNE PHOTO AÉRIENNE.....	9
FIGURE 2 CARTE DES TYPES ÉCOLOGIQUES DES CINQ ZONES D'ÉTUDES.....	10
FIGURE 3 CARTOGRAPHIE DE PONTENX AVEC LES TYPOLOGIES « VIENNE » ET « HABITAT ».....	14
FIGURE 4 SCHÉMA DE LA MÉTHODE DE TRANSFORMATION D'UNE CARTE EN GRILLE ASCII.....	18
FIGURE 5 VARIATIONS DES DIFFÉRENTS INDICES SUR DEUX EXEMPLES CONCRETS.....	21

- **Liste des tableaux**

TABLEAU 1 RESPONSABILITÉ ET SPÉCIFICITÉ FORESTIÈRE DE CHAQUE RÉGION PILOTE...4	
TABLEAU 2 INDICATEURS RELATIFS AU CRITÈRE N°4 : « CONSERVATION ET AMÉLIORATION APPROPRIÉE DE LA BIODIVERSITÉ DANS LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS ».....	6
TABLEAU 3 CLASSIFICATION ÉCOLOGIQUE UTILISÉE POUR LA DESCRIPTION DES ZONES D'ÉTUDE.....	9

TABLEAU 4	DIFFÉRENTES CLASSES UTILISÉES POUR LA TYPOLOGIE « VIENNE »	11
TABLEAU 5	CODES RETENUS POUR LA TYPOLOGIE « VIENNE »	11
TABLEAU 6	DIFFÉRENTES CLASSES UTILISÉES POUR LA TYPOLOGIE « HABITAT »	12
TABLEAU 7	CODES RETENUS POUR LA TYPOLOGIE « HABITAT »	13
TABLEAU 8	CORRESPONDANCES ENTRE LES TYPES ÉCOLOGIQUES CARTOGRAPHIÉS ET LES TYPOLOGIES	14
TABLEAU 9	RÉCAPITULATIF DES PARCELLES CHOISIES	15
TABLEAU 10	CORRÉLATIONS ENTRE LES RICHESSES DES DIFFÉRENTS TAXONS	24
TABLEAU 11	EXPLICATION DES RICHESSES DES TAXONS PAR LES VARIABLES QUALITATIVES	24
TABLEAU 12	CORRÉLATIONS RICHESSES / VARIABLES QUANTITATIVES (ZONES ISLANDES)	25
TABLEAU 13	CORRÉLATIONS RICHESSES / VARIABLES QUANTITATIVES (ZONE ACD)	25
TABLEAU 14	EVALUATION DE LA PERTINENCE INDIVIDUELLE DES INDICATEURS 4.1, 4.2, 4.3, 4.4	29
TABLEAU 15	MOYENNES DES RICHESSES PAR MODALITÉS DES INDICATEURS 4.1, 4.2 ET 4.3	30
TABLEAU 16	EVALUATION DE LA PERTINENCE INDIVIDUELLE DES INDICATEURS « HABITAT »	32

GLOSSAIRE

- **Gestion durable des forêts** : Gestion permettant de maintenir leur diversité biologique, leur capacité de régénération, leur productivité et leur vitalité, mais aussi de satisfaire actuellement et dans le futur les fonctions écologiques, sociales et économiques sans causer de préjudice à d'autres écosystèmes
- **Critère de gestion durable** : Un critère correspond à des préoccupations majeures en terme de gestion durable des forêts. Il sert à définir les éléments essentiels (paramètres, conditions ou processus) permettant de juger de la gestion forestière.
- **Indicateur de gestion durable** : Un indicateur est une variable quantitative ou qualitative permettant d'observer les tendances d'évolution d'un critère. Il fournit des indications précises sur la situation d'un critère dans un contexte forestier déterminé. Il permet de définir ou d'interpréter par sa variation les progrès ou le recul en direction de la gestion durable.
- **Diversité biologique (ou biodiversité)** : La biodiversité correspond à la variété de l'ensemble des organismes vivants. Elle correspond à la diversité des espèces animales et végétales mais aussi à leur diversité génétique, et à la diversité des écosystèmes et des paysages dans lesquels elles vivent.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ANOVA	AN alyse O f V ariance
CMPFE	Conférence M inistérielle pour la P rotection des F orêts en E urope
CNUED	Conférence des N ations U nies sur l' E nvironnement et le D éveloppement
EUNIS	E Uropean N ature I nformation S ystem
FAO	F ood and A griculture O rganization
FORSEE	gestion durable des F ORêts : un ré S Eau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnelle
IGN	I nstitut G éographique N ational
IPA	I ndices P onctuels d' A bondance
SIG	S ystème d' I nformation G éographique

INTRODUCTION

La superficie des forêts de plantation est en constante augmentation. En effet, dans le rapport général de l'étude Forestry Resources Assessment 2000, la Food and Agriculture Organization (FAO) estimait que l'évolution entre 1990 et 2000 des surfaces mondiales en plantations forestières était de + 3,1 millions d'hectares par an. Par ailleurs, leur gestion est de plus en plus intensive si bien que la question de leur durabilité se pose.

Depuis 1992, plusieurs conférences se sont préoccupées de l'évaluation de la gestion durable des forêts, permettant de maintenir leur diversité biologique, leur capacité de régénération, leur productivité et leur vitalité, mais aussi de satisfaire actuellement et dans le futur les fonctions écologiques, sociales et économiques sans causer de préjudice à d'autres écosystèmes. Pour cela, il a été établi une liste de critères correspondant à des préoccupations majeures en terme de gestion durable des forêts. Afin d'évaluer ces critères, il a ensuite été défini des listes d'indicateurs, variables quantitatives ou qualitatives permettant d'observer les tendances d'évolution d'un critère.

Les indicateurs proposés n'ayant pas tous été testés en conditions réelles, ils ne permettent pas forcément une estimation convenable et exhaustive des critères définis. C'est par exemple le cas des indicateurs relatifs à la conservation et l'amélioration de la biodiversité forestière. L'objectif de notre étude est donc non seulement d'évaluer ces indicateurs mais aussi d'améliorer le système d'évaluation de la biodiversité dans le contexte des forêts de plantation, où le besoin est sans doute le plus pressant.

Cette étude est principalement méthodologique puisqu'une démarche permettant l'évaluation et l'amélioration des indicateurs de biodiversité est mise en place. L'étude est réalisée à partir de données recueillies dans le massif des Landes de Gascogne, un ensemble de près d'un million d'hectares de peuplements purs de pin maritime (*Pinus pinaster*).

Après avoir précisé le contexte de l'étude grâce à une analyse bibliographique, nous en exposerons les deux principaux objectifs. Il conviendra alors de présenter la démarche utilisée pour répondre à ces objectifs, puis d'analyser les résultats obtenus. Enfin, nous terminerons par une discussion sur l'évaluation en plusieurs points des indicateurs de Vienne, leur amélioration et les apports de cette étude à la gestion durable de la forêt des Landes.

Chapitre 1 :CONTEXTE DE L'ÉTUDE

1.1 LA GESTION DURABLE DES FORÊTS ET SON ÉVALUATION

1.1.1 Naissance du développement durable et de son application forestière

La Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), tenue à Rio de Janeiro en 1992, avait abouti à l'adoption générale du concept de développement durable en tant que développement basé essentiellement sur l'équilibre entre les trois composantes économiques, sociales et environnementales. Lors de cette conférence, il avait été établi un guide de mise en œuvre du développement durable pour le 21^e siècle : l'Agenda 21. Ce guide, structuré en quatre sections et quarante chapitres, doit être appliqué par toutes les nations engagées pour sa mise en place (Agora 21, 2003).

Le chapitre 11 de l'Agenda 21, intitulé «Lutte contre le déboisement », s'intéresse à l'application du développement durable au domaine forestier. Les thèmes abordés dans ce chapitre sont divers : maintien de la multifonctionnalité des forêts, gestion écologiquement viable, promotion d'une bonne utilisation des arbres et des forêts, renforcement des systèmes d'évaluation et d'observation des forêts ainsi que des projets connexes...(Agora 21, 2003). En application de ce chapitre, plusieurs initiatives ont été prises à travers le monde pour définir de manière plus opérationnelle et plus spécifique la notion de gestion durable des forêts.

1.1.2 Moyens d'évaluation de la gestion durable des forêts

Ainsi, en juin 1993 à Helsinki, la deuxième Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe (MCPFE) a fourni une réponse à l'échelle européenne aux problèmes soulevés par la CNUED dans le domaine forestier. En effet, six critères de gestion durable des forêts ont été identifiés puis adoptés. Parmi les nombreuses définitions que nous trouvons dans la bibliographie pour les critères, nous pourrions retenir la suivante. Les critères sont les « *aspects considérés comme importants ; ils servent à définir les éléments essentiels (paramètres, conditions ou processus) permettant de juger de la gestion forestière* » (Chevalier, 1997, dans Salamens, 2001).

Les six critères d'Helsinki sont les suivants (MCPFE, 2004) :

1. Conservation et amélioration appropriée des ressources forestières et leur contribution au cycle global du carbone
2. Conservation de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers
3. Conservation et encouragement de la fonction de production des forêts (bois et non-bois)
4. Conservation et amélioration appropriée de la biodiversité dans les écosystèmes forestiers
5. Conservation et amélioration appropriée de la fonction de protection dans la gestion forestière (notamment sol et eau)
6. Conservation d'autres bénéfiques et conditions socio-économiques

Ensuite, une liste de vingt-sept indicateurs destinés à évaluer chacun des six critères précédents a aussi été adoptée lors du processus d'Helsinki. Ces indicateurs sont « *des variables ou des paramètres quantitatifs ou qualitatifs et fournissent des indications précises sur la situation d'un critère dans un contexte forestier déterminé. Ils permettent de définir ou d'interpréter par leurs variations les progrès ou le recul en direction de la gestion durable* » (Chevalier, 1997, dans Salamens, 2001).

La liste des indicateurs évaluant les six critères a ensuite été améliorée au cours des deux CMPFE suivantes : à Lisbonne en 1998, puis à Vienne en 2003. La dernière liste effective est donc celle de Vienne. Les indicateurs figurant sur cette liste ont été le fruit d'un consensus politique mais n'ont pas tous été testés sur le terrain. Il convient donc désormais d'évaluer leur validité. C'est pour répondre à cet objectif que le projet européen FORSEE « *gestion durable des FORêts : un réSEau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnelle* » a été lancé. Il propose d'évaluer la pertinence, la faisabilité et le coût de mise en œuvre des indicateurs de gestion durable des forêts à l'échelle interrégionale. L'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité (UMR BIOGECO, INRA de Cestas) est chargée de coordonner les études sur le critère n° 4, relatif au maintien de la biodiversité.

1.2 LE PROJET FORSEE : MISE EN ŒUVRE DE LA GESTION DURABLE DES FORETS

1.2.1 Présentation générale du projet et de ses objectifs

Le projet FORSEE s'inscrit dans le programme INTERREG III, qui est un des quatre programmes d'initiatives communautaires mis en place par la commission européenne. INTERREG III est destiné à favoriser une intégration territoriale harmonieuse de l'arc atlantique dans toute la communauté sur la période 2000-2006. Ce programme soutient de nombreux projets collectifs impliquant des partenaires de pays différents. La promotion de l'environnement et la gestion durable des activités économiques et des ressources naturelles est une des priorités du programme INTERREG III (Orazio, 2004). Le projet FORSEE est cofinancé par l'Union Européenne dans le cadre de cette priorité. Il a été approuvé en septembre 2003 et a réellement débuté le 1^{er} novembre 2003.

Les objectifs du projet FORSEE ont été clairement présentés lors du premier comité technique du projet réuni à Bordeaux le 30 janvier 2004. Ils sont les suivants (Orazio, 2004) :

- Tester la liste des indicateurs de gestion durable des forêts résultant de la dernière CMPFE de Vienne en 2003
- Structurer un réseau d'experts en matière d'indicateurs de gestion forestière durable reconnus internationalement
- Contribuer à la vulgarisation de la notion d'indicateurs dans les régions forestières

1.2.2 Moyens mis en œuvre pour répondre aux objectifs

Afin de répondre aux objectifs cités précédemment, un réseau de neuf régions pilotes complémentaires représentant plusieurs milliers d'hectares a été établi (1.2.2).

Tableau 1 Responsabilité et spécificité forestière de chaque région pilote

Région	Spécificité forestière	Critère(s) étudié(s)
Irlande	Epicéa de Sitka	C1 : Stockage du Carbone
Aquitaine	Pin maritime	C4 : Biodiversité
Cantabrie	Eucalyptus, Pin radiata	-
Pays basque	Pin radiata	C5 : Protection des sols
Navarre	Hêtre	C1 : Stockage du Carbone
Castille y Leon	Peuplier	C2 : Santé des forêts
Galice	Pin maritime, Pin radiata, Eucalyptus	C1 ; C2 ; C3 : Production
Portugal Nord	Pin maritime	C6 : Socio-économie
Portugal Centre	Eucalyptus globulus, Chêne liège	C1 : Stockage du Carbone

Source: FORSEE, first technical committee, ORAZIO, 2004

Chaque région est en charge de l'étude des indicateurs reliés à un des six critères en fonction de sa spécificité forestière et des études préalablement réalisées.

Par ailleurs, le comité technique du projet a désigné un groupe d'experts par critère à étudier, soit six au total. Chaque groupe est donc en charge de l'élaboration d'un protocole à utiliser pour tester les indicateurs relatifs au critère dont il est responsable, ceci au sein de la région pilote concernée. De plus, chaque groupe compte parmi ces membres un représentant de chacune des régions impliquées dans le projet. Mon étude se situe plus particulièrement dans le cadre du travail du groupe d'experts en charge du critère biodiversité.

1.3 LE TRAVAIL DU GROUPE D'ÉTUDE « BIODIVERSITÉ » DU PROJET FORSEE

La conservation ou la restauration de la diversité biologique ont été recommandées lors des différentes CMPFE mais aussi lors de la CNUED de Rio de Janeiro en 1992. En effet, lors de cette conférence, la grande majorité des Etats a signé la Convention sur la Diversité Biologique. Cet accord a pour but de conserver la biodiversité et d'utiliser durablement ses éléments (Convention sur la Diversité Biologique, 1992). Nous allons expliquer par la suite en quoi cet engagement est important.

La conservation de la diversité biologique en forêt est nécessaire. En effet, une biodiversité importante permettrait aux générations futures d'assouvir leurs besoins en ressources génétiques, alimentaires ou encore pharmaceutiques (Jactel, 2000). En outre, d'après le postulat écologique de Pimm, les écosystèmes les plus diversifiés seraient les plus aptes à résister aux perturbations mais aussi à se reconstituer après une catastrophe naturelle par exemple (Pimm, 1984, dans Jactel, 2000). Ainsi il a été montré que la réduction de la biodiversité conduit à une augmentation du risque de dégâts phytosanitaires (Jactel *et al.*, 2004). Par ailleurs, la surface des forêts de plantation, où la diversité des essences forestières est réduite au minimum, a doublé dans les quinze dernières années (FAO, 1997, dans Jactel, 2000). Il existe donc un réel besoin de conservation de la biodiversité dans les écosystèmes forestiers et à fortiori en forêts de plantation.

Afin d'apprécier cette biodiversité, les gestionnaires ont besoin d'un système fiable. Des inventaires exhaustifs pourraient fournir des indicateurs directs en terme de richesse ou de diversité spécifique. Mais cette approche est très coûteuse et très difficile à mettre en œuvre, des groupes taxonomiques tels que les arthropodes par exemple regroupant de très

nombreuses espèces, certaines difficiles à identifier (Jactel, 2000). L'utilisation d'espèces indicatrices a également montré ses limites, leur valeur indicatrice ne dépassant souvent pas la limite de leur groupe taxonomique.

Une solution plus prometteuse pour évaluer la biodiversité en forêt serait l'utilisation d'une méthode basée sur l'identification puis la mesure des facteurs clés qui déterminent le niveau de biodiversité (Larsson, 2001a). En effet, les trois principales raisons de l'érosion de la biodiversité sont la diminution de la qualité des habitats des espèces, du nombre de ces habitats et la modification de leur répartition dans l'espace (Jactel, 2004). En forêt la qualité de l'habitat peut être définie par les caractéristiques des peuplements forestiers, elles-mêmes dépendantes des conditions stationnelles et du mode de gestion. Le nombre et la distribution spatiale des habitats, ici des peuplements forestiers favorables aux espèces, dépendent eux de la structure du paysage, elle-même fonction des conditions environnementales et de l'aménagement du territoire. Les variables permettant de décrire ces caractéristiques à l'échelle du peuplement ou du paysage, si elles s'avèrent corrélées aux richesses spécifiques observées, pourraient être retenues comme indicateurs de la biodiversité.

Ainsi, le projet européen BEAR « Indicators for monitoring and evaluation of forest biodiversity in Europe » a permis de dresser une liste de facteurs clés et d'indicateurs permettant de les évaluer (Larsson, 2001a). Cette liste est classée en catégories : facteurs de structure, de composition ou de gestion à deux échelles : celles du paysage et de la parcelle. Mais elle doit être validée puis adaptée à chaque type forestier. Ce travail constitue l'un des thèmes de recherche de l'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité, et l'un des principaux objectifs du groupe d'experts en charge du critère numéro 4 dans le programme FORSEE.

Chapitre 2 : OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette étude présente deux principaux objectifs, présentés dans le chapitre qui suit.

2.1 ÉVALUATION DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ PROPOSÉS À VIENNE

Le premier objectif de mon travail est d'évaluer les indicateurs relatifs au critère « Conservation et amélioration appropriée de la biodiversité dans les écosystèmes forestiers » sur un cas concret. Cependant, tous ne seront pas évalués dans le cadre de cette étude car certains ont été jugés peu intéressants dans le contexte de l'Europe Atlantique ou déjà trop connus. Seuls ceux figurant en bleu dans le 2.1 retiendront donc notre attention.

Tableau 2 Indicateurs relatifs au critère n°4 : « Conservation et amélioration appropriée de la biodiversité dans les écosystèmes forestiers »

N°	Indicateur	Texte complet
4.1	Composition spécifique des arbres	Surface de forêts et autres terres boisées, classées par nombre d'espèce forestières présentes et par type de forêts
4.2	Régénération	Surface de régénération en peuplements forestiers équiennes et en peuplements forestiers inéquiennes, classés par type de régénération
4.3	Caractère naturel	Surface de forêts et autres terres boisées, classées en « non perturbées par l'homme », en « semi-naturelles » ou en plantations », chacune par type de forêts
4.4	Espèces forestières introduites	Surface de forêts et autres terres boisées composées principalement d'espèces forestières introduites
4.5	Bois mort	Volume de bois mort sur pied et de bois mort au sol dans les forêts et autres terres boisées classé par type de forêt
4.6	Ressources génétiques	Surface gérée pour la conservation et l'utilisation des ressources génétiques forestières (conservation génétique in-situ et ex-situ) et surface gérée pour la production de semences forestières
4.7	Organisation du paysage	Organisation spatiale du couvert forestier du point de vue paysager
4.8	Espèces forestières menacées	Nombre d'espèces forestières menacées, classées conformément aux catégories de la Liste Rouge de l'IUCN, par rapport au nombre total d'espèces forestières
4.9	Forêts protégées	Surface de forêts et autres terres boisées protégées pour conserver la biodiversité, le paysage et des éléments naturels spécifiques, conformément aux recommandations d'inventaire de la CMPFE

Réalisé à partir de la source : <http://mcpfe.org>, Déclaration et résolutions de Vienne, 2003

L'évaluation portera sur les aspects coût, faisabilité et pertinence. En effet, pour pouvoir être utilisés par les gestionnaires forestiers, les indicateurs ne doivent pas être trop coûteux à renseigner. De plus, ils doivent être « faisables », c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas être trop compliqués, les données de base doivent être facilement accessibles. Enfin, et ce point est sans doute le plus important, ils doivent être pertinents. Ils doivent réellement

permettre d'estimer le niveau de la biodiversité en forêt, ou tout au moins son évolution, sur toutes les zones forestières étudiées.

Pour résumer, les questions auxquelles nous devons répondre pour atteindre ce premier objectif sont les suivantes :

- Les indicateurs élaborés à Vienne ont-ils un coût de renseignement raisonnable ?
- Les indicateurs élaborés à Vienne sont-ils faisables (faciles à renseigner ...) ?
- Les indicateurs élaborés à Vienne sont-ils pertinents (effectivement corrélés aux richesses spécifiques) ?

2.2 AMÉLIORATION DU SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ

Une fois l'évaluation des indicateurs effectuée, nous nous fixons l'objectif suivant : améliorer l'estimation de la biodiversité en proposant de nouveaux indicateurs fondés sur les facteurs clés de la dynamique de la biodiversité, facteurs liés à la qualité, la quantité et la distribution spatiale des habitats.

La question à laquelle nous devons répondre pour atteindre cet objectif est la suivante :

- Par rapport aux indicateurs élaborés lors du protocole Vienne, les indicateurs fondés sur l'approche « facteurs clés » permettent-ils d'obtenir une meilleure évaluation de la biodiversité ?

Le chapitre suivant présente la méthodologie utilisée pour répondre à l'ensemble de ces questions.

Chapitre 3 : DÉMARCHE UTILISÉE

3.1 PRÉSENTATION GLOBALE DE LA DÉMARCHE UTILISÉE

Les cinq indicateurs que nous nous proposons d'évaluer sont les suivants : « Composition spécifique des arbres », « Régénération », « Caractère naturel », « Espèces forestières introduites » et « Organisation du paysage ». Nous remarquons que ce dernier n'est pas très explicite. Il est trop imprécis. Il est aussi probablement le plus dur à renseigner. C'est pourquoi nous sommes partis de cet indicateur pour essayer de mieux le caractériser. Tous ces indices étant dépendant du type d'occupation du sol, la logique adoptée était donc la suivante : utiliser les quatre premiers indicateurs (à l'échelle de la parcelle), afin de déterminer une typologie d'occupation du sol (classification des différentes zones). Cette dernière a alors été appliquée aux paysages environnant les parcelles afin de pouvoir calculer des indices de structure du paysage. Considérant cette typologie trop simpliste, nous pouvions alors en proposer une plus proche des exigences des espèces en terme d'habitats. C'est alors que nous avons créé une deuxième typologie utilisant comme base de référence la classification **EU**ropean **N**ature **I**nformation **S**ystem (EUNIS), traduisant la composition de chaque parcelle. A ces codes EUNIS sont couplées des variables de structure des parcelles. Ce couplage permet de définir la qualité des peuplements en tant qu'habitat.

L'outil cartographique est utilisé comme base pour la réalisation de ce travail. En effet, il permet de représenter simplement divers types d'informations sur une surface donnée. Nous avons donc créé une carte par zone et pour chacune des deux typologies. Nous avons alors pu effectuer des calculs d'indices de structure du paysage, dont les valeurs dépendent de la typologie considérée. Ces calculs sont réalisés autour d'un échantillon de parcelles où des inventaires faunistiques et floristiques ont été réalisés par l'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité, où des données de richesses spécifiques sont donc disponibles. Finalement, des analyses statistiques entre les richesses spécifiques pour différents groupes taxonomiques et les valeurs de composition et structure des peuplements et des indices de structure du paysage permettent de discuter de l'intérêt et de la pertinence des indicateurs proposés à Vienne. La comparaison des résultats obtenus avec les deux typologies permet ensuite d'améliorer les indicateurs relatifs au critère biodiversité.

3.2 CHOIX ET PRÉSENTATION DES ZONES D'ÉTUDES

Le choix des sites sur lesquels cette étude est réalisée a été principalement guidé par la disponibilité des données. En effet, compte tenu du temps disponible pour la réalisation du travail, nous avons dû choisir des zones sur lesquelles des relevés de biodiversité avaient déjà été effectués. Ainsi, nous avons retenu cinq sites pour lesquels nous disposons d'un nombre de données suffisant.

Les cinq zones choisies sont situées dans la forêt des Landes de Gascogne :

Nom de la zone	Superficie totale	Remarque
ACI	5 022 ha	/
Biscarosse	3 620 ha	Zone du réseau ISLANDES
Le Bray	8 600 ha	Zone du réseau ISLANDES
Nezer	5 345 ha	Zone du réseau ISLANDES
Pontenx-les-Forges	5 180 ha	Zone du réseau ISLANDES

Leurs localisations sont précisées en 5.4. Les zones du réseau ISLANDES sont des zones qui avaient été utilisées dans un autre projet mené par l'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité : le projet ISLANDES.

Les cinq zones ont été décrites précisément à l'aide d'une classification écologique correspondant aux connaissances actuelles de Luc Barbaro, chargé de recherche de l'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité. Cette classification, présentée dans le 3.2, a été bâtie en fonction des exigences écologiques des espèces étudiées.

Tableau 3 Classification écologique utilisée pour la description des zones d'étude

HABITATS FORESTIERS		HABITATS NON FORESTIERS	
Pins de 0 à 3 mètres	Ripsisylves	Routes	Landes arbustives
Pins de 3 à 7 mètres	Haies de feuillus	Parefeux	Landes arborées
Pins de 7 à 15 mètres		Prairies	Airiaux
Pins supérieurs à 15 mètres		Prairies humides	Urbain
Bois mixtes		Cultures	Eau
Feuillus		Landes herbacées	

3.3 CARTOGRAPHIE DES ZONES D'ETUDES

3.3.1 Cartographie des types écologiques

Les cartes des types écologiques des différentes zones ont été réalisées grâce au Système d'Information Géographique (SIG) *Arcview* en 2001, par Laurent Pontcharraud, stagiaire au laboratoire Entomologie Forestière & Biodiversité. Le support utilisé est la *BD-Ortho* de l'Institut Géographique National (IGN), ortho-photographie couleur à 50 cm de résolution. Ces photographies aériennes, à l'échelle 1 : 25 000^e, ont l'avantage d'être géoréférencées ; la cartographie se fait donc directement sur la couche des photographies. Comme le montre la 3.3.1, la photo-interprétation est utilisée pour délimiter les différents polygones et leur attribuer un type écologique.

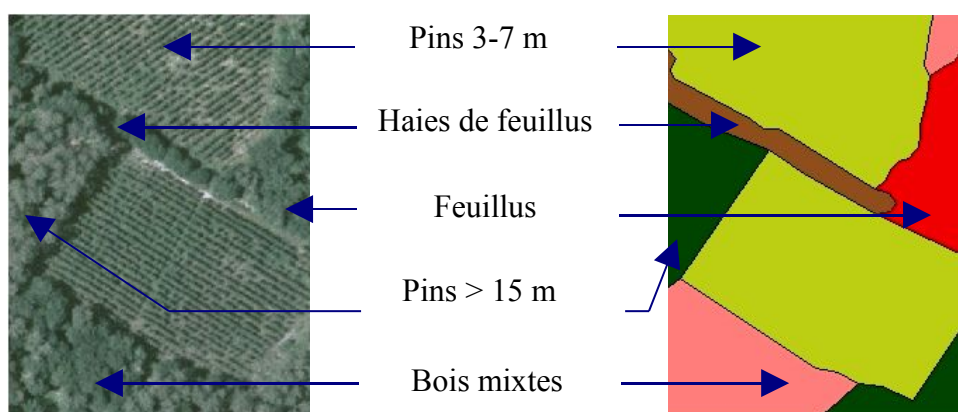


Figure 1 Réalisation d'une carte des types écologiques à partir d'une photo aérienne

Une fois la cartographie terminée, une tournée sur le terrain permet de contrôler les éventuels changements d'occupation du sol. Nous obtenons ainsi les cartes des types écologiques suivantes (3.3.1).

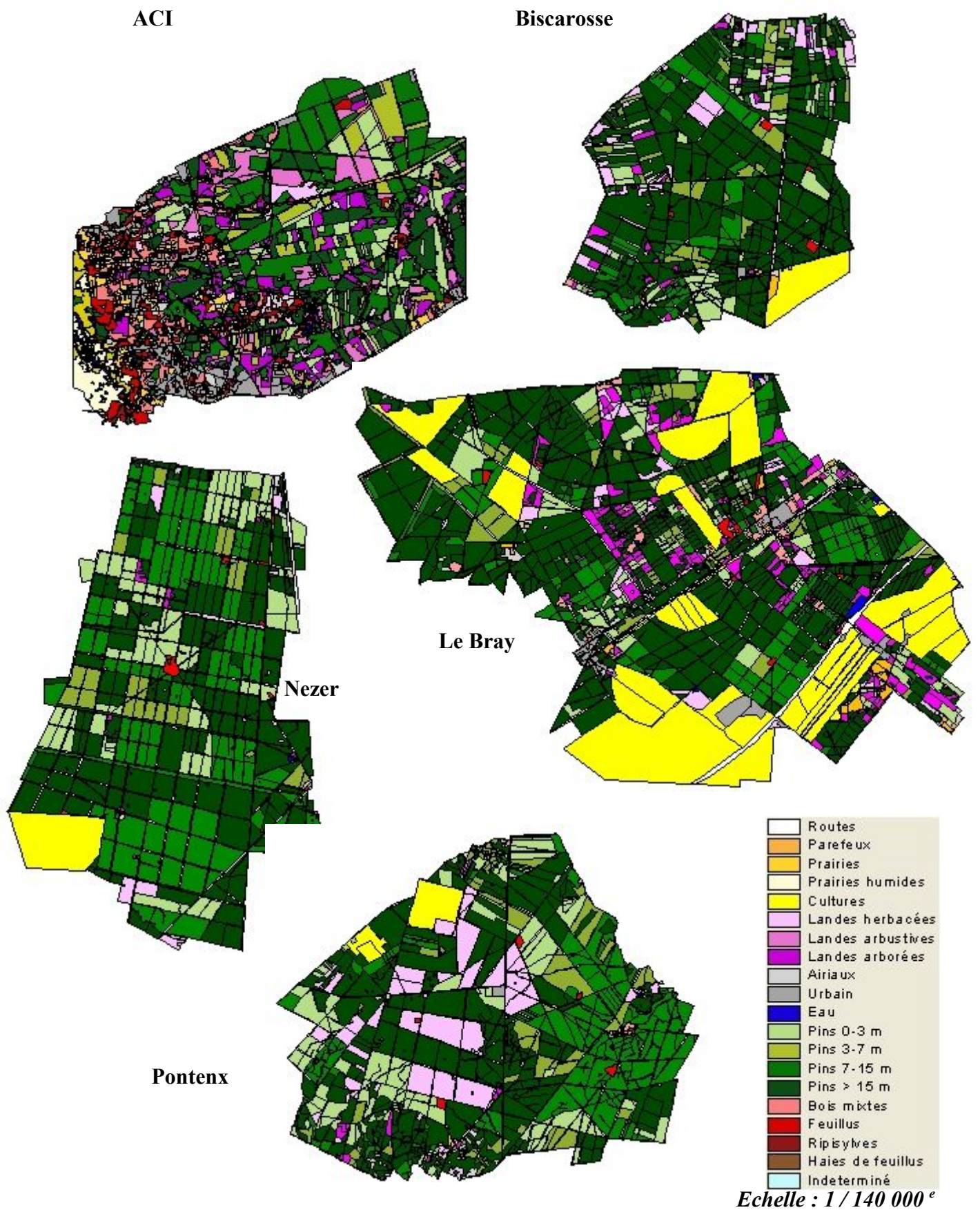


Figure 2 Carte des types écologiques des cinq zones d'études

3.3.2 Cartographie des zones à l'aide des deux typologies étudiées

Les cartes utilisant les deux typologies peuvent alors être réalisées à partir des cartes des types écologiques. Ainsi, le parcellaire permettra par la suite de calculer des variables de structure du paysage.

3.3.2.1 Présentation de la typologie « Vienne »

La typologie « Vienne » intègre quatre des indicateurs élaborés à Vienne. Pour chaque indicateur, il a été défini des classes sur lesquelles va être basée la typologie. Certaines simplifications ont été nécessaires afin d'obtenir un nombre suffisant de parcelles par classe.

Ainsi, pour l'indicateur « Composition spécifique des arbres », nous avons seulement tenu compte du type d'espèce, conifère ou feuillu. Pour la « Régénération », nous avons fait deux classes en fonction du caractère équienne ou inéquienne du peuplement, traduisant respectivement des régénérations artificielles ou naturelles. Enfin, l'indicateur « Naturalité » traduisant le caractère perturbé ou non par l'homme, nous avons fait deux classes en fonction du type de sylviculture, intensive ou extensive. Tout ceci est récapitulé dans le 3.3.2.1.

Tableau 4 Différentes classes utilisées pour la typologie « Vienne »

Indicateurs		Différentes classes de définition de l'indicateur		
4.1	Composition	Conifères purs	Mélange conifères feuillus	Feuillus purs
4.2	Régénération	Peuplement équienne		Peuplement inéquienne
4.3	Naturalité	Sylviculture intensive		Sylviculture extensive
4.4	Espèces introduites	Espèces natives	Espèces acclimatées	Mélange natives et acclimatées

Nous remarquons donc qu'en croisant les quatre indicateurs, nous obtenons un maximum de $3 \times 2 \times 2 \times 3 = 36$ combinaisons possibles, soit 36 types d'occupations du sol différentes pour la représentation cartographique. Or, nous ne trouvons pas toutes les combinaisons sur les zones d'études. Il ne faut donc conserver que celles qui sont susceptibles d'exister. Après sélection, nous obtenons quatre possibilités auxquelles nous attribuons un code. Chacune des parcelles forestières se verra donc attribuer un de ces quatre codes lors de la réalisation de la carte qui utilise la typologie « Vienne ».

En ce qui concerne les habitats non forestiers, nous utilisons la classification universelle EUNIS, disponible sur le site Internet <http://eunis.eea.eu.int/habitats.jsp>. Pour chaque type d'habitats, nous déterminons donc le code EUNIS (de deuxième niveau) auquel il correspond. Les différents codes retenus pour la cartographie utilisant la typologie « Vienne » (codes Vienne et EUNIS), sont récapitulés dans le tableau suivant (3.3.2.1).

Tableau 5 Codes retenus pour la typologie « Vienne »

HABITATS FORESTIERS				
Code Vienne	Composition	Régénération	Naturalité	Espèce forestière introduite
Vie1	Conifères purs	P. équienne	S. intensive	Espèces natives
Vie2	Mélange conifères feuillus	P. inéquienne	S. extensive	Espèces natives
Vie3	Feuillus purs	P. inéquienne	S. extensive	Espèces natives
Vie4	Feuillus purs	P. équienne	S. intensive	E. natives et acclimatées

HABITATS NON FORESTIERS

Code EUNIS	Intitulé du Code EUNIS
C	Surfaces intérieures en eau
E1	Prairies sèches
E2	Prairies mésophiles
FA	Haies
F4	Landes arbustives tempérées
G5	Terres boisées récemment coupées
I1	Terres arables
J2	Constructions à faibles densités
J4	Réseaux de transports et autres surfaces bâties

Ainsi, pour transformer la carte de chacune des zones, il suffit d'établir les correspondances entre la liste des types écologiques déjà cartographiés (3.2) et chaque code de la typologie « Vienne » (3.3.2.1). Ensuite, il faut ajouter un nouveau champ à la table attributaire du thème et renseigner ce champ avec le code « Vienne » correspondant à chaque parcelle. La méthode utilisée pour réaliser les cartes avec la typologie « Habitat » est similaire, nous allons présenter la typologie dans le paragraphe suivant.

3.3.2.2 Présentation de la typologie « Habitat »

Pour les habitats forestiers, la base de la typologie est la classification EUNIS, à laquelle nous couplons trois indicateurs. Quatre codes de la classification EUNIS, correspondant à la composition de chaque parcelle, permettent de décrire les habitats que nous pouvons trouver sur les zones d'études :

- G1 : Feuillus à feuilles caduques
- G3 : Conifères
- G4 : Mélanges conifères et feuillus à feuilles caduques
- G5 : Taillis et jeunes peuplements

Les trois indicateurs couplés à ces quatre codes sont des variables de structures de la parcelle qui avaient été considérées comme importantes dans le projet européens BEAR, soit : « Forme de la parcelle », « Hauteur de la canopée » et « Couverture de la canopée ». De la même manière que pour la typologie « Vienne », nous avons défini des classes pour chaque indicateur (3.3.2.2).

Tableau 6 Différentes classes utilisées pour la typologie « Habitat »

Indicateurs	Différentes classes de définition de l'indicateur	
Forme de la parcelle	Compacte	Linéaire
Hauteur de la canopée	< 7 m	≥ 7 m
Couverture de la canopée	< 100 %	100 %

En croisant les quatre codes EUNIS et les trois indicateurs, nous obtenons un maximum de $4 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$ combinaisons possibles, soit 32 types d'occupations du sol différentes pour la représentation cartographique. Or, de la même manière que dans la typologie « Vienne », nous avons sélectionné uniquement celles qui existent sur les zones d'études c'est-à-dire 8 combinaisons. Pour les habitats non forestiers, nous réutilisons les

codes EUNIS utilisés pour la typologie « Vienne ». Le 3.3.2.2 récapitule les différents codes utilisés finalement pour la typologie « Habitat ».

Tableau 7 Codes retenus pour la typologie « Habitat »

HABITATS FORESTIERS				
Code Habitat	Code EUNIS	Forme de la parcelle	Hauteur de la canopée	Couverture de la canopée
Hab1	G5	Compacte	< 7 m	< 100 %
Hab2	G5	Compacte	< 7 m	100 %
Hab3	G3	Compacte	≥ 7 m	100 %
Hab4	G3	Compacte	≥ 7 m	< 100 %
Hab5	G4	Compacte	≥ 7 m	< 100 %
Hab6	G1	Compacte	< 7 m	100 %
Hab7	G1	Compacte	≥ 7 m	100 %
Hab8	G1	Linéaire	≥ 7 m	100 %

HABITATS NON FORESTIERS	
Code EUNIS	Intitulé du Code EUNIS
C	Surfaces intérieures en eau
E1	Prairies sèches
E2	Prairies mésophiles
FA	Haies
F4	Landes arbustives tempérées
G5	Terres boisées récemment coupées
I1	Terres arables
J2	Constructions à faibles densités
J4	Réseau de transports et autres surfaces bâties

La typologie « Habitat » créée ici est donc universelle puisqu'elle utilise une base de référence européenne pour la variable de composition de la parcelle. Elle est donc transposable aux autres régions. Cela n'aurait pas été le cas si nous n'avions pas créé de typologie « Habitat » et que nous avons directement utilisé la classification écologique créée par Luc Barbaro, trop spécifique au contexte landais.

3.3.2.3 Correspondances avec la liste des types écologiques

Le 3.3.2.3 permet de réaliser deux nouvelles cartes par zone d'étude.

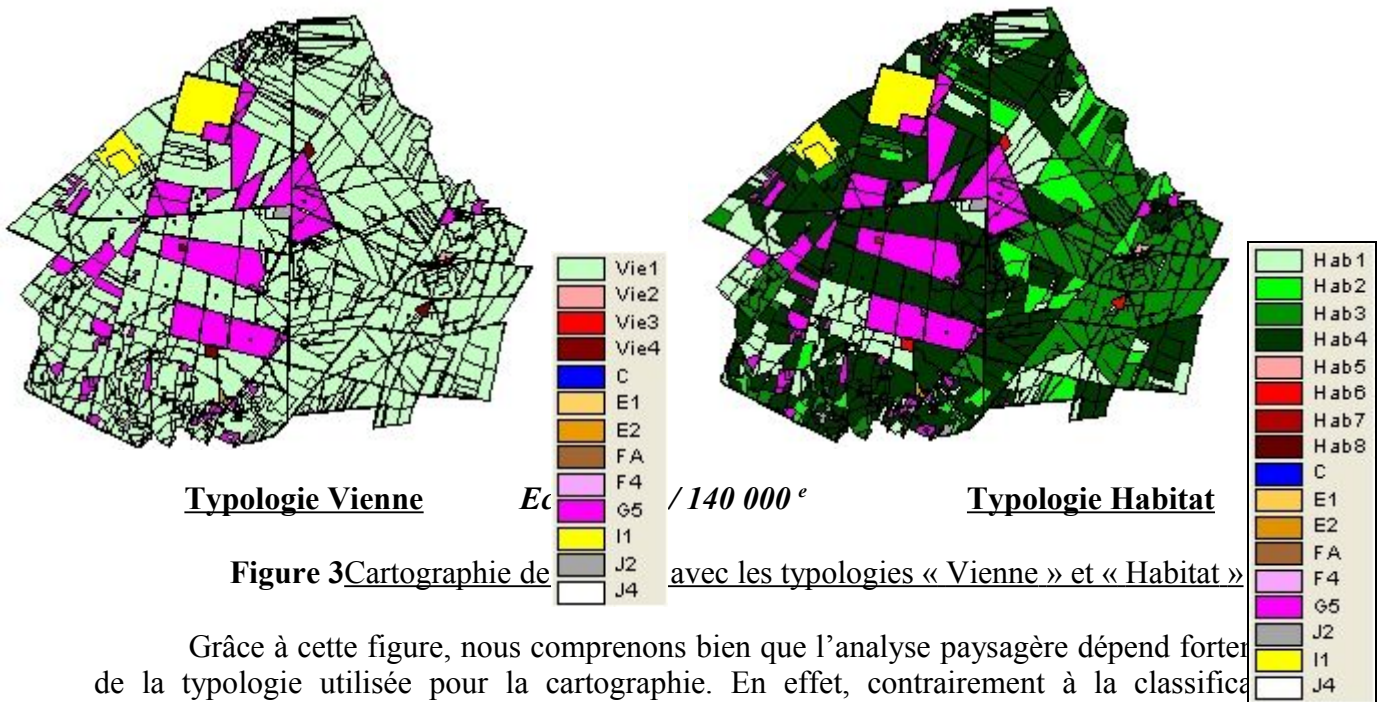
Les « prairies humides » ont été regroupées avec les « prairies » car aucun code EUNIS ne correspondait exactement au type de prairies humides rencontrées sur les zones d'étude.

De plus, nous remarquons qu'au type « feuillus » correspond deux codes « Vienne » et deux codes « Habitat ». En effet, en 1994, l'équipe Entomologie Forestière & Biodiversité a créé huit parcelles de plantations de feuillus qui diffèrent du reste des feuillus des zones d'études du point de vue de leur structure et de leur composition car beaucoup plus jeunes et contenant des espèces acclimatées. Les codes Vie4 et Hab6 correspondent donc à ces plantations, Vie3 et Hab7 étant attribués aux autres peuplements de feuillus sub-naturels.

Tableau 8 Correspondances entre les types écologiques cartographiés et les typologies

Type écologique cartographié	Code Vienne correspondant	Code Habitat correspondant
Routes	J4 - Réseau de transports et autres surfaces bâties	
Parefeux	E1 - Prairies sèches	
Prairies	E2 - Prairies mésophiles	
Cultures	I1 - Terres arables	
Landes herbacées	G5 - Terres boisées récemment coupées	
Landes arbustives	F4 - Landes arbustives tempérées	
Landes arborées	G5 - Terres boisées récemment coupées	
Haies de feuillus	FA - Haies	
Airiaux	J2 - Constructions à faibles densités	
Urbain	J2 - Constructions à faibles densités	
Eau	C - Surfaces intérieures en eau	
Pins 0-3 m	Vie1	Hab1
Pins 3-7 m	Vie1	Hab2
Pins 7-15 m	Vie1	Hab3
Pins >15 m	Vie1	Hab4
Bois mixtes	Vie2	Hab5
Feuillus	Vie3 ou Vie4	Hab6 ou Hab7
Ripisylves	Vie3	Hab8

Nous utilisons le 3.3.2.3 afin de transformer les cartes initiales grâce au logiciel *Arcview* et nous obtenons deux nouvelles cartes pour chacune des cinq zones d'études. Voici par exemple sur la 3.3.2.3 les deux cartes obtenues pour la zone de Pontenx-les-Forges.



Grâce à cette figure, nous comprenons bien que l'analyse paysagère dépend fortement de la typologie utilisée pour la cartographie. En effet, contrairement à la classification « Habitat », « Vienne » ne permet pas de distinguer les différentes classes de hauteurs de pin maritime. La structure d'un même paysage semble donc plus simple avec « Vienne » qu'avec « Habitat ». De même, en ce qui concerne les feuillus, « Vienne » ne tient pas compte de la

forme de la parcelle, les ripisylves ne sont donc pas distinguées des autres feuillus, alors qu'elles le sont avec « Habitat ». L'exemple de Pontenx-les-Forges montre donc bien l'importance des différentes classes utilisées dans les typologies car ce sont elles qui déterminent la complexité des cartes obtenues et par suite la valeurs des indices de structure des paysages. L'analyse paysagère va ainsi nous permettre de comparer les quatre indicateurs de Vienne testés dans le cadre du projet aux indicateurs proposés avec la typologie « Habitat ».

3.4 ECHANTILLONNAGE DE LA BIODIVERSITÉ SUR LES ZONES D'ETUDES

3.4.1 Choix des parcelles utilisées pour réaliser l'étude

Le choix des parcelles a été influencé par plusieurs facteurs. D'une part, les relevés de biodiversité n'ont pas été réalisés sur toutes les parcelles des zones cartographiées, il faut donc sélectionner celles pour lesquelles un maximum de relevés a été effectué. D'autre part, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, des mesures quantitatives de structure des peuplements ont été réalisées en 2001 sur l'ensemble des parcelles des zones ISLANDES mais seulement sur certaines de la zone ACI. Ainsi, nous avons choisi d'étudier les parcelles sur lesquelles le nombre de données de structure disponibles est maximum. L'ensemble de ces paramètres a permis de sélectionner un ensemble de 72 parcelles se répartissant ainsi : 51 sur la zone ACI et 21 sur l'ensemble des quatre zones du projet ISLANDES. Le 3.4.1 présente le nombre de parcelles pour chaque classe des typologies « Vienne » et « Habitat ».

Tableau 9 Récapitulatif des parcelles choisies

	ACI	ISLANDES		ACI	ISLANDES
Hab1	4	6	Vie1	29	6
Hab2	7	0			
Hab3	9	0			
Hab4	9	0			
Hab5	7	0			
Hab6	0	8			
Hab7	6	7			
Hab8	9	0			
Total	51	21	Vie2	7	0
			Vie4	0	8
			Vie3	15	7
			Total	51	21

Les plantations de jeunes feuillus réalisées par l'INRA (classes Hab6 et Vie4) se trouvent uniquement sur les zones du réseau ISLANDES, ce qui explique que nous n'ayons aucune parcelle de ce type sur la zone ACI. De plus, sur les zones ISLANDES, nous n'avons sélectionné que les parcelles permettant d'obtenir un échantillonnage équilibré. Les chapitres suivants présentent l'ensemble des données disponibles pour chaque parcelle choisie.

3.4.2 Méthode d'échantillonnage de la biodiversité

Afin de pouvoir évaluer les indicateurs de biodiversité, nous devons tester leur niveau de corrélation avec les valeurs de richesses spécifiques fournies par des relevés faunistiques et floristiques. Sur les zones ISLANDES et ACI, les taxons ayant fait l'objet d'un échantillonnage sont les oiseaux nicheurs, les coléoptères carabiques, les araignées et les

plantes vasculaires (ces deux derniers groupes n'ont été relevés que sur les zones ISLANDES). Les paragraphes suivants présentent les méthodes d'échantillonnage utilisées.

3.4.2.1 Méthode d'échantillonnage des oiseaux

Les échantillonnages ont été réalisés en 2001 par Luc Barbaro. La méthode employée est celle des **Indices Ponctuels d'Abondance (IPA)**. Pour chaque point échantillonné, il s'agit d'effectuer deux passages de vingt minutes chacun (un en début de printemps et l'autre en début d'été), lors desquels l'on note l'indice d'abondance de chaque espèce selon la notation suivante : 1 pour un couple ou un mâle chanteur vu ou entendu, 0,5 pour un cri entendu ou un individu vu seul. L'indice d'abondance est plafonné à 5 puisque distinguer plus de 5 chanteurs différents au cours d'un même point d'écoute devient difficile en raison d'un phénomène de saturation de l'observateur.

3.4.2.2 Méthode d'échantillonnage des coléoptères carabiques

L'échantillonnage des coléoptères carabiques a été réalisé par l'équipe d'entomologie de l'INRA de Cestas en 2001. Les pièges ont été installés entre fin avril et début mai et relevés tous les mois jusqu'à mi-octobre. Le tri et l'identification ont été réalisés au laboratoire d'entomologie. La méthode de piégeage utilisée est celle des pièges à fosse. Ils sont composés d'un pot en verre de 50 cl de contenance et de 9 cm de diamètre rempli aux 2/3 d'un mélange de 2/3 d'eau et d'1/3 d'ammonium quaternaire, produit assurant une bonne conservation des échantillons. Chaque piège est couvert d'une petite plaque de bois surélevée afin de protéger le piège de la pluie. Chaque parcelle est échantillonnée avec six pièges disposés en rectangle et espacés de 10 m sur les zones ISLANDES, et avec un piège par parcelle sur la zone ACI.

3.4.2.3 Méthode d'échantillonnage des araignées

En ce qui concerne les araignées, la méthode de piégeage est identique mais n'a été effectuée que sur les parcelles ISLANDES. L'identification a été réalisée par Jean-François Cornic (INRA d'Avignon).

3.4.2.4 Méthode d'échantillonnage des plantes vasculaires

Les échantillonnages des plantes vasculaires ont été effectués par Jean Timbal (INRA de Cestas) de la manière suivante. Pour chaque parcelle, un relevé floristique est effectué sur une bande de 25 m², plus un inventaire complet sur la totalité de la parcelle, avec deux passages par an (un au printemps et un en été). Les relevés ont été faits selon la méthode Braun-Blanquet avec des coefficients d'abondance dominance de 1 à 5. Les espèces sont classées par strates verticales : bryophytes, herbacées et ligneux bas (0-30 cm), herbacées et ligneux moyens (30 cm à 2 m), ligneux de 2 à 7 m, ligneux supérieurs à 7 m. Tout comme les araignées, ces relevés ont été réalisés sur les parcelles ISLANDES seulement (trois parcelles n'ont pas été échantillonnées et ne seront donc pas utilisables dans certains calculs).

3.5 OBTENTION DE DONNÉES QUANTITATIVES À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

3.5.1 Données mesurées sur le terrain

Les variables de structure de la parcelle qui ont été mesurées sur le terrain sont les suivantes : hauteur moyenne de la strate arborée (mesurée sur dix arbres par parcelle par un télémètre à ultrasons), pourcentages de recouvrement des strates arborées, arbustives et

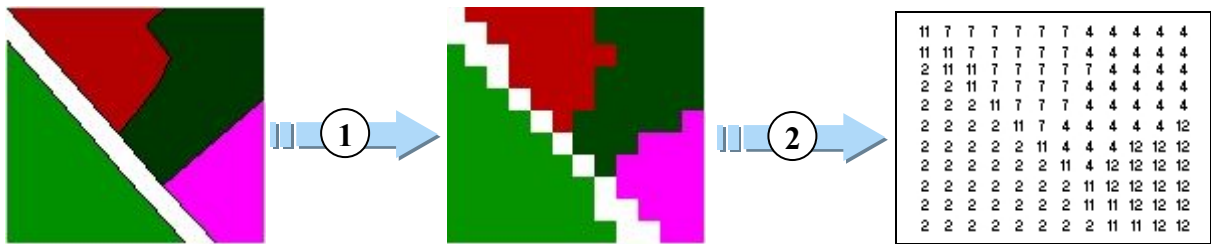


Figure 4 Schéma de la méthode de transformation d'une carte en grille ASCII

Comme le montre la 3.6.1, la transformation se divise en deux étapes, réalisées à l'aide de l'extension *Spatial analyst* du logiciel *Arcview*. Dans un premier temps, il s'agit de transformer la carte (schéma de gauche) en grille (schéma du milieu). La résolution (taille d'un pixel) choisie est de 10 m, ce qui permet de conserver l'information de départ tout en obtenant un fichier de taille raisonnable. Dans un deuxième temps, la grille obtenue est transformée en ASCII (schéma de droite), fichier directement utilisable par *Fragstats* dans lequel chaque chiffre correspond à l'occupation du sol sur chaque pixel.

Comme il est précisé précédemment, les indices sont calculés sur deux surfaces : 200 et 500 m autour des parcelles échantillonnées. Pour chacune des dix grilles ASCII obtenues, on extrait donc les « buffers » (zones circulaires autour de chaque point de l'échantillonnage) de rayon 200 et 500m. Cette opération est réalisée grâce au programme *Buffer 2.0*, développé par Jean-Pierre Rossi, chargé de recherches au laboratoire d'entomologie de l'INRA de Cestas. Nous obtenons ainsi un total de $74 \times 2 \times 2 = 296$ buffers correspondant à toutes les parcelles échantillonnées pour les deux typologies et les deux distances. Ces buffers, portions de fichier ASCII, sont exploitables par *Fragstats*, avec lequel nous avons calculé différents indices permettant d'analyser le paysage autour des parcelles échantillonnées.

3.6.2 Choix et présentation des indices calculés

Grâce au logiciel *Fragstats*, il est possible de calculer un large éventail d'indices. Il faut donc choisir les plus intéressants parmi toute la gamme. Le choix a principalement été guidé par les résultats du projet ISLANDES. En effet, plusieurs indices avaient été testés et certains permettaient mieux que d'autres d'expliquer la biodiversité. Nous avons donc choisi de sélectionner ceux qui étaient les plus pertinents afin de pouvoir tester au mieux l'influence des deux typologies. Les indices finalement retenus sont classés ci-dessous en fonction du type d'information qu'ils apportent.

Voici les significations des lettres utilisées dans les formules ci-dessous :

- $i = 0, \dots, m-1, m$: Occupations du sol
- $j = 0, \dots, n-1, n$: Parcelles
- N : Nombre total de parcelles
- a_{ij} : Aire de la parcelle ij (m^2)
- A : Aire totale (m^2)
- E : Longueur totale des lisières (m)
- p_{ij} : Périmètre de la parcelle ij (unité de résolution)
- h_{ij} : Distance de la parcelle ij à la plus proche parcelle de même type (m)
- P_i : Proportion du paysage occupé par l'occupation i (%)

- **Indices de fragmentation**

- Number of patches *(Nombre total de parcelles)*

$$NP = N \qquad \text{Sans unité} \qquad NP > 0$$

Un paysage est plus hétérogène et/ou fragmenté si NP est plus grand.

- Mean patch area *(Surface moyenne des parcelles)*

$$AREA_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{10000}}{N} \qquad \text{Unité : ha} \qquad AREA_MN > 0$$

Un paysage est plus hétérogène et/ou fragmenté si AREA_MN est plus petit.

- Edge density *(Densité de lisières)*

$$ED = \frac{E}{A} * 10000 \qquad \text{Unité : ha} \qquad ED \geq 0$$

ED = 0 lorsque le paysage ne contient qu'une seule parcelle. Plus le nombre total de parcelles est grand et/ou plus elles ont une forme complexe, plus ED augmente.

- Area weighted mean shape index *(Indice moyen de forme des parcelles pondéré par l'aire)*

$$SHAPE_AM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{p_{ij}}{\min p_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \qquad \text{Sans unité} \qquad SHAPE_MN \geq 1$$

Plus SHAPE_AM est grand, plus le paysage environnant la parcelle contient des parcelles de formes complexes. SHAPE_AM est pondéré par l'aire de manière à tenir compte de l'importance relative de chaque parcelle en terme de surface.

- Area weighted mean fractal dimension index *(Indice moyen de dimension fractale des parcelles pondéré par l'aire)*

$$FRAC_AM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln(0.25 \cdot p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right] \qquad \text{Sans unité} \qquad 1 \leq FRAC_MN < 2$$

Plus FRAC_AM est grand, plus le paysage environnant la parcelle contient des parcelles de formes complexes. FRAC_AM est compris entre 1 et 2, ce qui permet d'apprécier facilement la complexité moyenne des parcelles.

- **Indices d'hétérogénéité**

- Shannon's diversity index *(Indice de diversité de Shannon)*

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i) \quad \text{Sans unité} \quad \underline{SHDI > 0}$$

SHDI augmente quand le nombre de parcelles de classes différentes augmente. SHDI = 0 lorsque le paysage ne contient qu'une seule parcelle.

- Shannon's evenness index *(Indice d'équitabilité de Shannon)*

$$SHEI = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m} \quad \text{Sans unité} \quad \underline{SHEI > 0}$$

SHEI permet d'expliquer l'équitabilité dans la distribution des différentes occupations du sol. Ainsi, un SHEI proche de 0 indique la dominance d'un type d'occupation et donc une inéquitabilité dans la distribution.

- Percentage of landscape *(Pourcentage d'occupation du sol par chaque type)*

$$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} * 100 \quad \text{Unité : \%} \quad \underline{PLAND > 0}$$

PLAND permet de connaître la composition du paysage en différents types d'habitats.

- **Indices de connectivité**

- Mean euclidean nearest neighbour distance *(Distance moyenne au plus proche voisin de même type)*

$$ENN_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N} \quad \text{Unité : m} \quad \underline{ENN_MN > 0}$$

ENN_MN permet d'évaluer la connectivité moyenne entre parcelles de même type. Plus ENN_MN est grand, plus les parcelles de même type sont éloignées les unes des autres.

La 3.6.2 permet de mieux comprendre ces indices à partir de deux exemples :

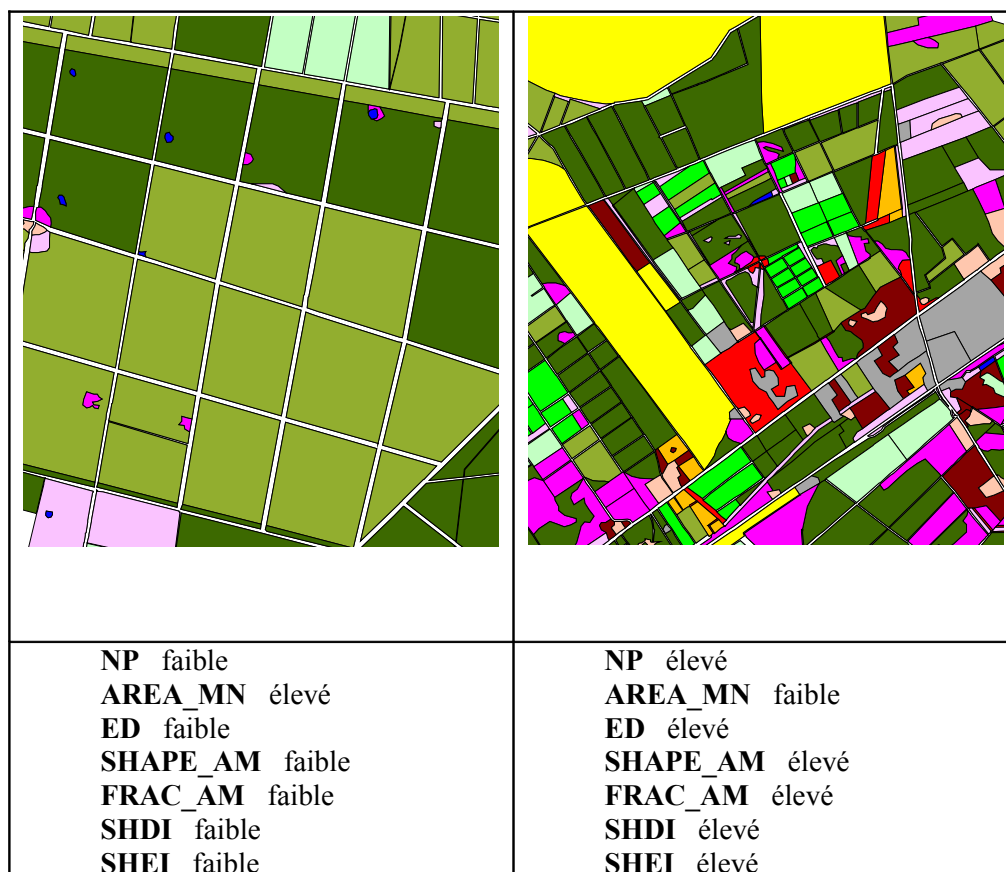


Figure 5 Variations des différents indices sur deux exemples concrets

3.7 ANALYSE DES DONNÉES OBTENUES

3.7.1 Récapitulatif des données à analyser

Pour chaque parcelle échantillonnée nous disposons donc des données suivantes. Un exemple de l'ensemble des données disponibles pour une parcelle de la zone ACI est présenté en 5.4.

- **Données d'échantillonnage de la biodiversité à l'échelle de la parcelle** (variables continues)
 - Richesse en oiseaux : birdr
 - Richesse en carabes : carabr
 - Richesse en araignées : spidr
 - Richesse en plantes : plantr

(zones ISLANDES seulement)
(zones ISLANDES seulement)
- **Données qualitatives l'échelle de la parcelle**, correspondant aux codes « Vienne » et « Habitat » de la parcelle et à la décomposition de ces codes (variables de classes)
 - Code Vienne : codv
 - Composition : comp

- Régénération : rege
- Naturalité : nat
- Espèce forestière introduite : intro
- Code Habitat : codh
- Code EUNIS : code
- Forme de la parcelle : form
- Hauteur de la canopée : canoph
- Couverture de la canopée : canopc

- **Données quantitatives à l'échelle de la parcelle** (variables continues)
 - Surface : area
 - Périmètre : perim
 - Hauteur de la canopée : height *(incomplet sur zone ACI)*
 - Pourcentage de recouvrement arboré : covtree *(incomplet sur zone ACI)*
 - Pourcentage de recouvrement arbustif : covshrub *(incomplet sur zone ACI)*
 - Pourcentage de recouvrement herbacé : covsoil *(zones ISLANDES seulement)*
 - Indice de forme de la parcelle : shape
 - Age des arbres sur la parcelle : age *(zones ISLANDES seulement)*

- **Données quantitatives à l'échelle du paysage** (variables continues)
 - disponibles pour les typologies « Vienne » et « Habitat » pour 200 et 500 m

(ex : %Vie1 est le % de Vie1 dans le paysage environnant la parcelle échantillonnée en considérant la typologie « Vienne », il existe un %Vie1 pour 200 m et un %Vie1 pour 500 m)

- Nombre total de parcelles : VNP et HNP
- Densité de lisières : VED et HED
- Surface moyenne des parcelles : VAREA_MN et HAREA_MN
- Indice moyen de forme des parcelles pondéré par l'aire : VSHAPE_AM et HSHAPE_AM
- Indice moyen de dimension fractale des parcelles pondéré par l'aire : VFRAC_AM et HFRAC_AM
- Distance moyenne au plus proche voisin de même type : VENN_MN et HENN_MN
- Indice de diversité de Shannon : VSHDI et HSHDI
- Indice d'équitabilité de Shannon : VSHEI et HSHEI
- Proportion de chaque type forestier : %Vie1, %Vie2, %Vie3, %Vie4, %Hab1, %Hab2, %Hab3, %Hab4, %Hab5, %Hab6, %Hab7, %Hab8

- variables quelque soit la typologie utilisée
 - Proportion de chaque type non forestier : %E1, %E2, %FA, %F4, %G5 et %I1

Les analyses des données obtenues sont réalisées grâce aux logiciels *Statview* et *SAS* sur deux regroupements de parcelles échantillonnées : parcelles des zones ISLANDES et parcelles de la zone ACI.

3.7.2 Corrélations entre les richesses des taxons

Les corrélations entre richesses des différents taxons sont testées deux à deux afin de déterminer si la présence d'individus d'un groupe est liée ou non à la présence d'individus d'un autre groupe.

3.7.3 Effets des variables qualitatives sur la richesse des taxons

Afin de pouvoir évaluer la pertinence individuelle de chacun des indicateurs élaborés lors de la CMPFE de Vienne, nous recherchons si les variables qualitatives expliquent significativement les richesses des différents taxons. Pour cela, nous réalisons une analyse de variance (ANOVA) à un facteur pour chacune des variables qualitatives. De plus, les résultats obtenus nous seront utiles lors de la recherche d'un modèle explicatif de la biodiversité combinant plusieurs variables.

3.7.4 Corrélations entre richesses des taxons et variables quantitatives

Afin de pouvoir évaluer la pertinence de l'indicateur « Organisation du paysage », nous testons les corrélations individuelles entre chacune des variables quantitatives et la richesse de chaque taxon. Les variables corrélées sont candidates pour être intégrées dans le modèle explicatif de la biodiversité combinant plusieurs variables.

3.7.5 Recherche d'un modèle explicatif de la richesse des taxons

Cette dernière étape utilise les résultats des deux précédentes. Nous recherchons ici un modèle combinant variables qualitatives et quantitatives à l'échelle du peuplement et du paysage. Les trois critères de construction du modèle sont par ordre d'importance :

1. La pertinence : le modèle doit être statistiquement significatif
2. La parcimonie : le nombre de variables intégrées au modèle doit être le plus faible possible
3. La précision : le R^2 doit être maximum

Ce modèle multiple permet de tester la pertinence de la combinaison des indicateurs de Vienne et des indicateurs « Habitat ». Le chapitre suivant présente les résultats obtenus lors des différentes analyses.

Chapitre 4 : RÉSULTATS OBTENUS

4.1 CORRÉLATIONS ENTRE LES RICHESSES DES TAXONS

Tableau 10 Corrélations entre les richesses des différents taxons

Zones	Richesses	R	p
ISLANDES	Richesse plantes – Richesse araignées	0.37	0.13
	Richesse plantes – Richesse oiseaux	0.44	0.07
	Richesse plantes – Richesse carabes	0.04	0.89
	Richesse araignées – Richesse oiseaux	0.19	0.41
	Richesse araignées – Richesse carabes	0.10	0.65
	Richesse oiseaux – Richesse carabes	-0.19	0.41
ACI	Richesse oiseaux – Richesse carabes	-0.01	0.93

Aucune corrélation n'est significative car les valeurs des p sont toutes supérieures à la valeur de rejet 0,05. Les richesses des différents taxons ne sont donc pas corrélées entre elles.

Les deux prochains paragraphes montrent les résultats obtenus par ANOVA sur chacune des variables qualitatives ; puis par corrélations avec chaque variable quantitative.

4.2 EFFETS DES VARIABLES QUALITATIVES SUR LES RICHESSES DES TAXONS

Tableau 11 Explication des richesses des taxons par les variables qualitatives

Zones	Richesse	codv	comp	rege	nat	intro	codh	code	form	canoph	canopc
ISLANDES	araignées	0.34	0.14	0.55	0.55	0.44	0.34	0.14		0.55	0.13
	carabes	0.20	0.33	0.07	0.07	0.43	0.20	0.33		0.07	0.75
	oiseaux	0.004	0.26	0.0008	0.0008	0.06	0.004	0.26		0.0008	0.92
	plantes	0.0001	0.0004	0.005	0.005	0.95	0.0001	0.0004		0.0005	0.003
ACI	carabes	0.07	0.07	0.54	0.54		0.02	0.02	0.13	0.05	0.01
	oiseaux	0.03	0.03	0.008	0.008		0.002	0.02	0.56	0.83	0.50

La variable « intro » n'a pas été analysée sur la zone ACI puisque sur cette zone, elle ne prend qu'une valeur puisqu'elle ne contient pas d'espèces acclimatées. Il en est de même pour la variable « form » sur les parcelles ISLANDES qui ne contient pas de parcelles linéaires (ripisylves). En gras figurent les valeurs des p inférieures à 0,05, correspondant à des effets significatifs de la variable sur la richesse. Les valeurs colorées en bleu représentent les effets très significatifs puisque les valeurs des p sont inférieures à 0,001.

D'une part, ce tableau montre que les oiseaux constituent le groupe qui répond le mieux aux différentes variables testées avec un total de dix réponses très significatives sur les deux jeux de données. En revanche, les carabes n'ont que deux réponses très significatives et sont donc moins sensibles à ces variables. Il en est de même pour les araignées dont la richesse ne varie avec aucune variable qualitative.

D'autre part, nous remarquons des différences d'effets d'une variable sur un groupe taxonomique en fonction de la zone. En effet, les carabes sont par exemple sensibles à « codh », code de la typologie « Habitat », sur la zone ACI. En revanche, ils ne montrent aucune réponse à cette même variable sur les zones du réseau ISLANDES.

Enfin, nous remarquons que les variables « codh » et « canoph » semblent être les plus influentes sur les richesses avec des réponses significatives de trois taxons différents (carabes, oiseaux et plantes) en cumulant les deux jeux de données. En revanche, les indicateurs de Vienne (« comp », « rege », « nat » et « intro ») n'expliquent significativement les richesses d'aucuns, un ou deux taxons seulement.

4.3 CORRÉLATIONS ENTRE RICHESSES DES TAXONS ET VARIABLES QUANTITATIVES

Tableau 12 Corrélations richesses / variables quantitatives (zones ISLANDES)

	Parcelle				Non forestier		« Vienne » 200 m				« Vienne » 500 m				
	perim	height	shape	age	%I1 200	%G5 500	VED	VSHDI	VSHEI	%Vic2	VED	VENN_MN	VSHDI	VSHEI	%Vic1
R. araignées															
R. carabes			-0.42 0.005							0.46 0.04		-0.45 0.04			0.51 0.02
R. oiseaux	0.45 0.04	0.66 0.001		0.47 0.03	0.60 0.004	-0.52 0.02		0.44 0.04		0.60 0.004	0.42 0.05		0.47 0.03	0.44 0.05	
R. plantes		0.61 0.007		0.62 0.006		-0.54 0.02	0.51 0.03	0.49 0.04	0.46 0.05						

	« Habitat » 200 m				« Habitat » 500 m						
	%Hab1	%Hab3	%Hab4	%Hab5	HSHAPE_AM	%Hab3	%Hab4	%Hab5	%Hab6	%Hab7	
R. araignées		0.49 0.02								0.46 0.03	
R. carabes									0.47 0.03		
R. oiseaux			-0.48 0.03	0.60 0.004	0.65 0.002	0.52 0.02	0.44 0.05				
R. plantes	-0.64 0.004	0.54 0.02								0.58 0.01	

Dans chaque case, la valeur du dessus est celle du R², celle du dessous correspond au *p*. Seules figurent dans ce tableau les variables pour lesquelles au moins un des quatre groupes montre une corrélation significative (très significative en bleu).

Les oiseaux présentent treize corrélations significatives. En revanche, les araignées ne sont corrélées qu'à deux variables, qui seront donc très importantes si l'on veut obtenir un modèle permettant d'expliquer les richesses des quatre taxons étudiés. Voici dans le tableau suivant les résultats obtenus pour la zone ACI.

Tableau 13 Corrélations richesses / variables quantitatives (zone ACI)

	Parcelle			Non forestier			« Vienne » 200 m							
	area	perim	height	%E2 200	%E1 500	%E2 500	VNP	VED	VAREA_MN	VSHDI	VSHEI	%Vic1	%Vic2	%Vic3
R. carabes			-0.390 0.03		0.444 0.0009				0.366 0.008	-0.292 0.04				
R. oiseaux	-0.343 0.01	-0.358 0.01		0.370 0.007		0.563 0.0001	0.328 0.02	0.373 0.007		0.470 0.0004	0.390 0.004	-0.492 0.0002	0.302 0.03	0.378 0.006

	« Vienne » 500 m							
	VNP	VED	VAREA_MN	VSHDI	VSHEI	%Vic1	%Vic2	%Vic3
R. carabes								

R. oiseaux	0.437 0.001	0.508 0.0001	-0.358 0.009	0.582 0.0001	0.532 0.0001	-0.542 0.0001	0.308 0.03	0.533 0.0001
------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	---------------	-----------------

« Habitat » 200 m												
	HED	HAREA_MN	HSHAPE_AM	HFRAC_AM	HSHDI	%Hab1	%Hab3	%Hab5	%Hab7			
R. carabes		0.438 0.011				0.406 0.003						
R. oiseaux	0.298 0.03		0.279 0.05	0.320 0.02	0.334 0.02		-0.403 0.003	0.304 0.03	0.457 0.0006			
« Habitat » 500 m												
	HNP	HED	HAREA_MN	HSHAPE_AM	HFRAC_AM	HSHDI	%Hab1	%Hab2	%Hab3	%Hab4	%Hab5	%Hab7
R. carabes							0.415 0.002					
R. oiseaux	0.366 0.008	0.399 0.004	-0.291 0.04	0.517 0.0001	0.487 0.0002	0.412 0.002			-0.396 0.004	-0.337 0.02	0.308 0.03	0.583 0.0001

Avec les données de la zone ACI, les oiseaux présentent à nouveau le plus grand nombre de réponses significatives. Comme c'était le cas avec les données ISLANDES, nous trouvons des réponses significatives avec des variables de structure du paysage dépendant des deux typologies.

En cumulant les deux jeux de données, les variables « height », « VSHD », « %Hab3 » et « %Hab7 » présentent des corrélations avec trois groupes taxonomiques. Ce sont donc de bons indicateurs potentiels. Seulement, les 4.3 et 4.3 montrent qu'aucune variable prise seule n'est capable d'évaluer la richesse de l'ensemble des taxons sur les deux zones, ISLANDES et ACI. Il est donc nécessaire de chercher un modèle multiple remplissant ces conditions. Les variables citées précédemment sont candidates à être intégrées aux modèles.

4.4 MODÈLE EXPLICATIF DE LA RICHESSE DES TAXONS

4.4.1 Meilleur modèle obtenu avec les variables issues de la typologie « Vienne »

Avec les variables de la typologie « Vienne », le meilleur modèle trouvé combine :

- **codv** → Code de la typologie « Vienne » (attribution de la parcelle)
- **height** → Hauteur de la canopée sur la parcelle échantillonnée
- **VSHDI** → Indice Shannon de diversité du paysage calculé avec la typologie « Vienne »
- **% Vie1** → % de pins dans le paysage environnant la parcelle
- **% Vie3** → % de feuillus dans le paysage environnant la parcelle

Les valeurs de significativité pour les différentes zones sont les suivantes :

ACI :	200 m :	Richesse oiseaux :	p = 0.02	R² = 0.41
		Richesse carabes :	p = 0.18	R ² = 0.26
ACI :	500 m :	Richesse oiseaux :	p = 0.01	R² = 0.43
		Richesse carabes :	p = 0.37	R ² = 0.20

ISLANDES :	200 m :	Richesse oiseaux :	p = 0.03	R² = 0.59
		Richesse carabes :	p = 0.09	R ² = 0.51
		Richesse araignées :	p = 0.11	R ² = 0.48
		Richesse plantes :	p = 0.007	R² = 0.76
ISLANDES :	500 m :	Richesse oiseaux :	p = 0.03	R² = 0.58
		Richesse carabes :	p = 0.15	R ² = 0.45
		Richesse araignées :	p = 0.02	R² = 0.60
		Richesse plantes :	p = 0.003	R² = 0.79

Quelque soient les zones et les distances utilisées, ce modèle n'est jamais significatif pour expliquer la richesse en carabes. De plus, la richesse en araignées n'est pas expliquée sur les parcelles ISLANDES en considérant un rayon de 200 m.

4.4.2 Meilleur modèle obtenu avec les variables issues de la typologie « Habitat »

En ce qui concerne la typologie « Habitat », le meilleur modèle trouvé combine :

- **Codh** → Code de la typologie « Habitat » (attribution de la parcelle)
- **height** → Hauteur de la canopée sur la parcelle échantillonnée
- **HAREA_MN** → Surface moyenne des parcelles dans le paysage calculée avec la typologie « Habitat »
- **% Hab1** → % de jeunes pins (0 à 3 m) dans le paysage environnant la parcelle
- **% Hab3** → % de pins d'âge moyen (7 à 15 m) dans le paysage environnant la parcelle
- **% Hab7** → % de feuillus dans le paysage environnant la parcelle

Les valeurs de significativité pour les différentes zones sont les suivantes :

ACI :	200 m :	Richesse oiseaux :	p = 0,008	R² = 0,63
		Richesse carabes :	p = 0,030	R² = 0,57
ACI :	500 m :	Richesse oiseaux :	p = 0,010	R² = 0,61
		Richesse carabes :	p = 0,010	R² = 0,61
ISLANDES :	200 m :	Richesse oiseaux :	p = 0,030	R² = 0,65
		Richesse carabes :	p = 0,740	R ² = 0,25
		Richesse araignées :	p = 0,080	R ² = 0,56
		Richesse plantes :	p = 0,030	R² = 0,72
ISLANDES :	500 m :	Richesse oiseaux :	p = 0,050	R² = 0,60
		Richesse carabes :	p = 0,020	R² = 0,67
		Richesse araignées :	p = 0,040	R² = 0,62
		Richesse plantes :	p = 0,020	R² = 0,74

Au contraire du modèle précédent, celui-ci est significatif dans tous les cas à l'exception des richesses en carabes et araignées sur les parcelles ISLANDES à 200 m. Nous remarquons donc qu'un rayon de 500 m permet une significativité du modèle pour tous les taxons, sur tous les jeux de données.

Le chapitre suivant présente l'évaluation des indicateurs élaborés lors de la CMPFE à Vienne, s'appuyant sur l'analyse des résultats présentés au cours de ce chapitre.

Chapitre 5 : DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats obtenus démontrent l'importance du développement d'indicateurs indirects permettant d'évaluer l'état de la biodiversité. En effet, le 4.1 prouve qu'il n'existe aucun taxon (parmi les quatre étudiés) dont la richesse spécifique soit corrélée, et donc indicatrice de celle d'un autre taxon comme cela avait déjà été montré dans d'autres études multi-taxon (Burel *et al.*, 1998 ; Jeanneret *et al.*, 2003 ; Morreti *et al.*, 2004).

5.1 EVALUATION DES INDICATEURS DE BIODIVERSITÉ PROPOSÉS À VIENNE

Nous ne traiterons ici que du coût des indicateurs évalués dans le cadre du projet FORSEE c'est-à-dire 4.1 « Composition spécifique des arbres », 4.2 « Régénération », 4.3 « Caractère naturel », 4.4 « Espèces forestières introduites » et 4.7 « Organisation du paysage ».

5.1.1 Coût de renseignement des indicateurs

Nous considérons les coûts pour une zone de 5 000 ha. Le coût de renseignement de chacun de ces indicateurs est très variable. En effet, pour les quatre premiers, il suffit d'une tournée sur le terrain sur chaque parcelle pour préciser à quelles classes du 3.3.2.1 (chapitre Démarche utilisée) elle appartient et donc pour renseigner les quatre indicateurs. Le temps de parcours de la zone varie en fonction du nombre de parcelles à visiter. En moyenne, la main d'œuvre nécessaire pour 5 000 ha est d'environ une personne à temps plein pendant deux mois. Il n'y a pas d'autre coût lié au renseignement de ces quatre indicateurs.

En revanche, le coût de l'indicateur 4.7 « Organisation du paysage » est plus élevé. En effet, le renseigner correctement et efficacement revient à calculer l'ensemble des indices de structure du paysage évoqués dans les chapitres précédents. Les coûts engagés pour la réalisation de ce travail sont les suivants :

- **Cartographie de la zone d'étude :**

D'après mon expérience au cours de ce stage, la main d'œuvre nécessaire est d'environ une personne à temps plein pendant un mois. Mais il faut aussi compter dans les coûts l'achat de la *BD-Ortho* à l'IGN au prix de 27 €/km² soit pour 5 000 ha : $50 \times 27 = 1350$ €. Il est possible de ne pas utiliser les ortho-photographies de l'IGN mais le temps de cartographie et par conséquent la main d'œuvre nécessaire augmentent.

- **Calcul des indices de paysage :**

La main d'œuvre varie beaucoup en fonction de la technique utilisée. Si l'on considère la méthode employée dans cette étude, il faut environ une personne à temps plein pendant un mois. Cependant, cette durée varie en fonction du nombre de parcelles sur lesquelles les calculs sont réalisés. De plus, elle peut augmenter si l'on ne dispose pas du programme *Buffer 2.0* et que l'on doit employer une autre technique de calcul.

Le coût de renseignement de l'indicateur « Organisation du paysage » est donc d'une personne à temps plein pendant deux mois plus 1350 € si l'on utilise la méthode de cette étude.

Au total, les cinq indicateurs testés avec le projet FORSEE ont un coût d'une personne à temps plein pendant quatre mois plus 1350 € ; ce qui est relativement élevé mais les cartes réalisées ici peuvent être réutilisées pour d'autres finalités par le forestier.

5.1.2 Faisabilité des indicateurs

D'un point de vue faisabilité, les indicateurs 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4 nécessitent seulement les connaissances des espèces forestières et de quelques bases de sylviculture. Ils peuvent donc être complétés assez facilement.

En revanche, ce n'est pas le cas de l'indicateur 4.7 « Organisation du paysage » pour lequel il est nécessaire de cartographier la zone d'étude. Il faut donc connaître le fonctionnement d'un SIG. Si la personne utilise la *BD-Ortho*, elle n'a pas à digitaliser et géoréférencer des photographies aériennes. Le procédé est donc assez simple d'autant plus que l'expérience en matière de cartographie des parcelles et de photo-interprétation s'acquiert assez rapidement. La seconde étape consiste à calculer les indices de structure de paysage. Pour cela, il est nécessaire de transformer la carte en fichier ASCII puis d'extraire les portions de paysages utilisées pour le calcul. Quelque soit la méthodologie utilisée, cette étape nécessite les conseils d'un utilisateur expérimenté. En revanche la manipulation du logiciel *Fragstats* est plus simple, mais réaliser les calculs sur l'ensemble des parcelles est assez long.

Dans l'ensemble, les indicateurs de Vienne testés dans le cadre du projet sont donc relativement « faisables ». C'est-à-dire qu'ils peuvent être renseignés assez facilement, à l'exception de certaines étapes plus difficiles ou plus longues à réaliser.

5.1.3 Pertinence des indicateurs

La pertinence des indicateurs de Vienne est testée grâce aux analyses statistiques dont les résultats ont été présentés dans le chapitre précédent.

5.1.3.1 Pertinences individuelles des indicateurs

- **Indicateurs 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4**

Le tableau qui permet d'évaluer la pertinence individuelle des quatre premiers indicateurs est le 4.2, que nous avons simplifié à l'aide du 5.1.3.1. Les variables « comp », « rege », « nat » et « intro » correspondent respectivement aux indicateurs 4.1 « Composition spécifique des arbres », 4.2 « Régénération », 4.3 « Caractère naturel » et 4.4 « Espèces forestières introduites ». Le code utilisé est le suivant : *** correspond à un effet très significatif de l'indicateur sur les richesses, ** correspond à un effet significatif, * correspond à un effet assez significatif. La case est vide lorsque nous n'avons aucun effet significatif.

Tableau 14 Evaluation de la pertinence individuelle des indicateurs 4.1, 4.2, 4.3,

Zones	Richesse	Comp (4.1)	Rege (4.2)	Nat (4.3)	Intro (4.4)
ISLANDES	araignées				
	carabes				
	oiseaux		***	***	
	plantes	***	**	**	
ACI	carabes				
	oiseaux	*	**	**	

4.4

D'une part, l'indicateur 4.1 permet uniquement d'expliquer la richesse en plantes sur les parcelles ISLANDES, et oiseaux sur les parcelles ACI. D'autre part, dans notre cas des Landes de Gascogne, les indicateurs 4.2 et 4.3 sont redondants. Tous les deux expliquent les richesses en oiseaux et plantes sur ISLANDES, et en oiseaux sur ACI. Enfin, aucune des richesses des quatre taxons étudiés n'est expliquée de façon significative par l'indicateur 4.4, testé uniquement sur les zones du réseau ISLANDES.

Au vu de ces résultats, la pertinence des quatre indicateurs est très variable et non systématique. En effet, aucun ne permet d'évaluer les richesses des quatre taxons. Cependant, les « Composition spécifique des arbres », « Régénération » et « Caractère naturel » semblent évaluer correctement la biodiversité par le biais des richesses en oiseaux et plantes. Le 5.1.3.1 montre quelles modalités de chaque indicateur permettent d'obtenir les richesses les plus importantes en oiseaux et plantes.

Tableau 15 Moyennes des richesses par modalités des indicateurs 4.1, 4.2 et 4.3

Composition spécifique des arbres			Régénération			Caractère naturel		
Modalités	Oiseaux	Plantes	Modalités	Oiseaux	Plantes	Modalités	Oiseaux	Plantes
Conifères	19,8	20,0	P. équiennne	19,4	26,1	S. intensive	19,4	26,1
Feuillus	22,5	34,3	P. inequienne	24,7	39,0	S. extensive	24,7	39,0
Conifères et feuillus	25,5	33,0						

Nb : Les calculs de moyennes ont été réalisés à partir des données ISLANDES seules puisque c'est sur ce jeu de données que les effets étaient les plus significatifs.

Les richesses en plantes et oiseaux les plus importantes se trouvent sur les parcelles contenant des feuillus, dans les peuplements inéquiennes ou à sylviculture extensive. Dans la forêt des Landes de Gascogne, ceci caractérise les bois de feuillus se trouvant disséminés dans la mosaïque de plantation de pins maritimes, qui semblent en revanche présenter des richesses plus faibles puisque ce sont des peuplements équiennes de conifères à sylviculture intensive.

En revanche, les résultats montre que l'indicateur « Espèces forestières introduites » ne permet pas d'évaluer la biodiversité dans le cas de la forêt des Landes de Gascogne. Ceci peut s'expliquer par le fait que sur nos cinq zones d'études, nous ne recensons aucune espèce introduite mais au mieux un mélange d'espèces natives et acclimatées. Cet indicateur n'a donc pas pu être réellement testé. Afin de remédier à ce problème, il serait donc nécessaire de réaliser à nouveau l'étude sur des zones comportant des espèces forestières introduites, telles que *Pinus contorta* par exemple.

Pour résumer, bien que les indicateurs 4.1, 4.2 et 4.3 soient pertinents vis-à-vis des richesses en plantes et oiseaux, nous pouvons constater qu'aucuns de ces trois indicateurs ne permettent d'évaluer les richesses des quatre groupes étudiés, et ceci sur toutes les zones d'étude. Nous allons voir ce qu'il en est de l'« Organisation du paysage » dans le paragraphe suivant.

- **Indicateur 4.7**

La pertinence de l'indicateur « Organisation du paysage » peut être déduite des 4.3 et 4.3. En analysant les résultats obtenus lors des corrélations entre variables quantitatives à l'échelle du paysage et richesses des différents taxons, nous remarquons que de nombreuses variables sont corrélées à la richesse d'un taxon au moins, et ceci à la fois sur les parcelles

ISLANDES et ACI. Ceci montre l'incontestable importance de l'organisation du paysage comme facteur agissant sur la richesse en espèces. Cet indicateur est donc pertinent sur le principe.

Cependant, il n'est pas assez précis. En effet, avec un tel intitulé, nous ne savons pas, parmi l'hétérogénéité, la fragmentation et la connectivité, quel(s) est/sont le(s) facteur(s) le(s) plus influent(s) sur la biodiversité. Le texte complet officiel de description de l'indicateur, « Organisation spatiale du couvert forestier du point de vue paysager », ne nous donne pas plus de renseignements.

Ainsi, considérés individuellement, les cinq indicateurs évalués dans le cadre de cette étude sont soit peu pertinents dans le sens où ils ne permettent pas d'évaluer l'ensemble de la biodiversité sur les deux zones d'études ; soit trop imprécis. Il est donc nécessaire d'analyser si une combinaison de ces indicateurs serait plus pertinente et précise.

5.1.3.2 Pertinence des combinaisons d'indicateurs

Comme nous l'avons présenté dans le chapitre précédent, la meilleure combinaison trouvée est la suivante :

- **codv** → Code de la typologie « Vienne » (attribution de la parcelle)
- **height** → Hauteur de la canopée sur la parcelle échantillonnée
- **VSHDI** → Indice Shannon de diversité du paysage calculé avec la typologie « Vienne »
- **% Vie1** → % de pins dans le paysage environnant la parcelle
- **% Vie3** → % de feuillus dans le paysage environnant la parcelle

La variable « codv » est synthétique des indicateurs 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4. Les variables VSHDI, %Vie1 et %Vie3 représentent l'organisation du paysage (correspondant à l'indicateur 4.7). Enfin, la variable « height » est une variable de structure du peuplement qui n'était pas proposée dans la liste d'indicateurs élaborée lors du protocole de Vienne.

D'après le chapitre précédent, ce modèle est significatif pour la richesse en oiseaux sur les deux zones et les deux distances. En revanche, il n'explique jamais la richesse en carabes. Ainsi, une combinaison des indicateurs ne permet pas d'obtenir un modèle qui explique la richesse de tous les taxons sur toutes les zones d'étude.

Pour résumer, individuellement ou en combinaison, les indicateurs élaborés à Vienne sont assez pertinents dans le sens où ils permettent d'expliquer les richesses de certains taxons. Cependant, aucun d'entre eux n'est utilisable quelque soit la zone d'étude considérée et pour l'ensemble des taxons. C'est pourquoi nous avons essayé d'améliorer ces indicateurs en trouvant un modèle qui remplirait les conditions citées précédemment.

5.2 COMPARAISON DES INDICATEURS DE VIENNE À CEUX DE LA TYPOLOGIE HABITAT

5.2.1 Comparaison des indicateurs pris individuellement

Tableau 16 Evaluation de la pertinence individuelle des indicateurs « Habitat »

Zones	Richesse	code	form	canoph	canopc
ISLANDES	araignées				
	carabes				
	oiseaux			***	
	plantes	***		***	**
ACI	carabes	*		*	*
	oiseaux	*			

Le 5.2.1, simplification du 4.3, montre qu'il n'y a pas de réelle différence entre les indicateurs de Vienne et les indicateurs « Habitat » du point de vue des significativités individuelles. Il s'agit donc maintenant de comparer les deux combinaisons d'indicateurs.

5.2.2 Comparaison des deux meilleurs modèles obtenus

Voici le meilleur modèle trouvé pour la typologie « Habitat » dans le chapitre précédent :

- **Codh** → Code de la typologie « Habitat » (attribution de la parcelle)
- **height** → Hauteur de la canopée sur la parcelle échantillonnée
- **HAREA_MN** → Surface moyenne des parcelles dans le paysage calculée avec la typologie « Habitat »
- **% Hab1** → % de jeunes pins (0 à 3 m) dans le paysage environnant la parcelle
- **% Hab3** → % de pins d'âge moyen (7 à 15 m) dans le paysage environnant la parcelle
- **% Hab7** → % de feuillus dans le paysage environnant la parcelle

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le modèle obtenu grâce à cette typologie est significatif pour toutes les zones et tous les taxons sur une distance de 500 m. De plus, les valeurs de R^2 sont assez élevées. Lorsqu'ils sont combinés, les indicateurs utilisés pour la construction de la typologie « Habitat » sont donc plus efficaces que ceux élaborés à Vienne. Ils permettent une meilleure évaluation de la biodiversité.

Ceci peut s'expliquer par le fait que la typologie « Habitat » offre une meilleure description du paysage d'un point de vue écologique. En effet, elle est plus précise et tient compte à la fois de la composition mais aussi de la structure de chaque parcelle. Ceci est le principal inconvénient des indicateurs de Vienne, qui tiennent uniquement compte de la composition. Pourtant, il a souvent été montré l'importance de la structure de chaque parcelle.

La complexité structurale du peuplement fait ainsi partie des facteurs clés qui déterminent le niveau de biodiversité, car une forte stratification permet d'augmenter le nombre de niches exploitables par un plus grand nombre d'espèces (Larsson, 2001b). La structure horizontale des peuplements influence ainsi grandement la biodiversité en modifiant les conditions micro-environnementales, au niveau des trouées par exemple (Larsson, 2001b). De même, la forme des parcelles (un des indicateurs « Habitat ») joue un rôle sur la diversité car elle influence le type de lisières et leur rapport lisières/surface. Un grand nombre

d'espèces, de papillons par exemple, sont en effet inféodées aux zones de transition, ou écotones. A l'inverse, une parcelle allongée garantira moins bien l'intégrité des conditions microclimatiques des habitats forestiers auxquels de nombreuses espèces sont sensibles (champignons ...), (Forman, 1995). Des indicateurs de structure sont donc utiles pour prédire le niveau de richesses de nombreux taxons. Ils doivent cependant être couplés à des variables de composition. Un grand nombre d'espèces, notamment animales (arthropodes, oiseaux, plantes épiphytes...) sont en effet connues pour être inféodées aux arbres. Il est donc logique de concevoir que la biodiversité globale augmente avec le nombre d'essences forestières. Par ailleurs, ces dernières conditionnent le niveau d'éclairement au sol et le taux d'humidité, qui ont un impact sur la survie de nombreuses espèces du sous-bois (plantes herbacées et lichens), (Larsson, 2001b). L'importance d'un couplage entre variables de structure et de composition à l'échelle de la parcelle apparaît ainsi primordiale.

Si l'on tient compte de ceci et de nos résultats, nous pouvons dire que le système d'indicateurs ayant servis à élaborer la typologie « Habitats », c'est-à-dire ... :

- | | | |
|---|--|-----------------------------------|
| • | Forme de la parcelle (form) | <i>Structure de la parcelle</i> |
| • | Hauteur de la canopée (canoph) | <i>Structure de la parcelle</i> |
| • | Couverture de la canopée (canopc) | <i>Structure de la parcelle</i> |
| • | Composition spécifique des arbres (code) | <i>Composition de la parcelle</i> |

... est un meilleur système d'indicateurs de la biodiversité dans le cas de la forêt de plantation des Landes de Gascogne.

Nous avons vu précédemment que l'indicateur 4.7 était trop imprécis, nous allons tenter de remédier à ce problème dans le chapitre suivant.

5.2.3 Amélioration de l'indicateur « Organisation du paysage »

Après avoir montré précédemment qu'il est nécessaire de coupler des variables de structure et de composition de la parcelle, il s'avère que ces dernières doivent aussi être étendues à l'échelle du paysage. La mise en œuvre et l'utilisation, dans les forêts de production, d'indicateurs basés sur la structure du paysage (incluant la complexité, l'hétérogénéité et la connectivité) est ainsi une des quatre approches proposées par Lindemayer *et al.* (2000) pour améliorer la conservation de la biodiversité en forêt. En effet, de nombreuses espèces, notamment celles à large territoire, exigent la présence de plusieurs types d'habitats pour maintenir leur population (oiseaux prédateurs qui associent un habitat pour la nidification à un autre type d'habitat pour la recherche de nourriture). Par ailleurs, certaines espèces démontrent une dynamique de métapopulation. Elles fonctionnent sous forme de petites sous-populations isolées dans des tâches d'habitats favorables et dont la survie dépend de la taille de ces tâches et de leur capacité à se déplacer entre tâches. Il apparaît donc que l'hétérogénéité (variable de composition correspondant à la diversité des habitats), la fragmentation (variable de structure correspondant à la taille des tâches d'habitats) et la connectivité (variable de structure correspondant à la distance entre tâches d'habitats) sont autant de facteurs conditionnant la survie de ces espèces et donc la biodiversité forestière (Angelstam, 2001 ; Jactel, 2004). Ainsi, les indicateurs de biodiversité doivent être déclinés aux différentes échelles spatiales, de la parcelle au paysage voire à la région (Larsson, 2001b ; Suchant, 2001).

Le modèle trouvé avec la typologie « Habitat » est significatif pour l'ensemble des richesses sur les deux zones, à l'exception des araignées et des carabes sur la zone ISLANDES pour une distance de 200 m. Le fait que cette distance soit insuffisante pour expliquer correctement la biodiversité peut s'expliquer ainsi. En prenant une distance de 200 m de rayon à partir du centre de la parcelle échantillonnée, il est tout à fait possible que le paysage alors considéré ne contienne que la parcelle échantillonnée. En effet, il suffit pour cela que cette dernière ait une surface supérieure à 12,7 ha ($\pi * r^2 = \pi * (200)^2 \approx 127000 \text{ m}^2$). La fragmentation, l'hétérogénéité et la connectivité du paysage ne sont alors pas prises en compte puisque ce dernier ne contient qu'une parcelle. Ceci confirme qu'il est préférable d'utiliser une distance de 500 m, pour laquelle le modèle combinant les six variables citées plus haut est significatif sur les deux zones et pour tous les taxons.

Si l'on tient compte de ceci et de nos résultats, les variables de structure du paysage qui, en étant combinées, permettent d'évaluer le mieux la biodiversité doivent être calculées sur un rayon de 500 m. Ce sont les suivantes :

- | | |
|--|--------------------------------------|
| • Surface moyenne des parcelles | <i>Structure du paysage</i> |
| • Pourcentage de jeunes pins (0-3 m) | <i>Composition du paysage</i> |
| • Pourcentage de pins d'âge moyen (7-15 m) | <i>Composition du paysage</i> |
| • Pourcentage de feuillus | <i>Composition du paysage</i> |

Ces variables permettent donc d'évaluer la biodiversité avec plus de précision que le seul indicateur « Organisation du paysage », dans notre cas en forêt de plantation des Landes de Gascogne. Elles doivent être couplées aux variables de structure et de composition de la parcelle évoquées précédemment.

5.3 APPORTS DE CETTE ÉTUDE

Tout d'abord, cette étude a permis de proposer une méthode rigoureuse d'évaluation des indicateurs de Vienne. En effet, elle a permis d'évaluer leurs pertinences, leurs coûts et leurs faisabilités, sur deux cas concrets en forêt des Landes. Cette méthodologie ayant été élaborée en Aquitaine, elle pourra alors être testée par les autres régions impliquées dans le groupe de travail « biodiversité » du projet FORSEE. A terme, des indicateurs fiables d'évaluation de la biodiversité, différents en fonction de la spécificité forestière de chaque région de l'arc atlantique, seront donc dégagés.

Ensuite, ce travail montre les limites des indicateurs de Vienne et propose une solution alternative, fondée sur une approche prenant en compte la connaissance des habitats des espèces forestières. Cette dernière s'avère plus fiable car elle est pertinente pour quatre groupes taxonomiques différents, et validée par deux jeux de données. Elle reste pourtant simple à mettre en œuvre car elle utilise des données accessibles à partir de cartes forestières. En résumé, cette étude a donc permis d'améliorer les indicateurs fournissant des informations précises sur la situation de la biodiversité dans la forêt de plantation des Landes de Gascogne. Elle a donc permis une progression dans la connaissance de quelques uns des éléments essentiels à une gestion forestière durable.

Enfin, les indicateurs basés sur la connaissance des habitats forestiers offrent aussi le grand avantage d'être directement couplés avec des variables de gestion forestière. Ils permettent donc d'envisager la prévision de l'impact de tout changement du mode de gestion

ou d'aménagement des forêts sur la biodiversité. Par exemple, la diminution de l'âge de la rotation diminue la hauteur des canopées qui, comme nous l'avons montré précédemment, a une influence sur le niveau de biodiversité. Ainsi, les indicateurs proposés permettent d'évaluer les impacts des changements de scénarii de sylviculture sur l'évolution des niveaux de biodiversité.

5.4 PERSPECTIVES

Dans le prolongement de ce travail, il serait intéressant désormais de trouver un modèle prédictif de la biodiversité pour chaque type de peuplement. En effet, les indicateurs identifiés dans cette étude sont ceux qui expliquent une part significative de la variabilité de la richesse spécifique (modèles explicatifs).

Il reste désormais à bâtir des modèles prédictifs sous forme de régressions multiples intégrant des variables quantitatives pour chaque type d'habitat forestier majeur (plantations de pins, îlots de feuillus...). Ces modèles devraient associer des variables quantitatives de structure du peuplement (hauteur, couverture de la canopée...) et du paysage (indices de fragmentation...). La richesse en un certain taxon serait alors une combinaison linéaire de l'ensemble des variables du modèle. Il serait alors nécessaire de trouver un modèle combinant les mêmes variables quelque soit le type de peuplement de la parcelle, seuls les coefficients varieraient. Par exemple, nous considérons que pour une parcelle de pins, var1, var2 et var3 sont les trois variables du modèle de prédiction avec les coefficients respectifs x, y et z. Alors la richesse en carabes, par exemple, est égale à $r = x.var1 + y.var2 + z.var3$.

Cela nécessite un jeu de données plus large, c'est-à-dire plus de répétitions de chaque type de parcelles, pour ajuster ces modèles. Ceci est la prochaine étape à réaliser pour progresser en matière d'évaluation de la biodiversité en vue d'une gestion plus durable.

BIBLIOGRAPHIE

- ANGELSTAM P., BREUSS M., MIKUSINSKI G.. 2001. Toward the assessment of forest biodiversity at the scale of forest management units. Criteria and indicators for sustainable forest management at the forest management unit level, EFI Proceedings, n°38, pp 59-74.
- BUREL F., BAUDRY J., BUTET A., CLERGEAU P., DELETTRE Y., LE CŒUR D., DUBS F., MORVAN N., PAILLAT G., PETIT S., THENAIL C., BRUNEL E., LEFEUVRE J.C.. 1998. Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. Acta Oecologica, n°19, pp 47-60.
- FORMAN R.T..1995. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge university.
- FORSEE. Management council report. First meeting in Lisbon, 19 décembre 2003. 6 p.
- FORSEE. Technical and scientific committee. First meeting in Bordeaux, 30 janvier 2004. 4 p.
- JACTEL H.. 2000. INDIBIO, Les indicateurs de la biodiversité des forêts – Evaluation expérimentale à l'échelle d'une zone atelier située en forêt de plantation. Coordination du projet de recherche INRA de Bordeaux, équipe entomologie forestière. 20 p.
- JACTEL H.. 2004. FORSEE, Experts Group on Biodiversity. First meeting in Bilbao, 28 février 2004. 5 p.
- JACTEL H., BROCKERHOFF E., DUELLI, P. 2004. A test of the biodiversity-stability theory: Meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations, and re-examination of responsible factors. The functional significance of forest diversity (eds Scherer-Lorenzen, M., Körner, C., Schulze, E.-D), Springer Verlag. (*in press*)
- JACTEL H., BARBARO L.. 2004. Projet ISLANDES, 2001-2003, Biodiversité spécifique et fonctionnelle des îlots de feuillus en pinède de plantation (Landes de Gascogne). GIP ECOFOR, Programme biodiversité et gestion forestière. INRA de Bordeaux, équipe entomologie forestière. 52 p.
- JEANNERET P., SCHÜPBACH B., PFIFFNER L., WALTER T.. 2003. Arthropod reaction to landscape and habitat features in agricultural landscapes. Landscape Ecology, n°18, pp 253-263.
- LARSSON T-B.. 2001a. Biodiversity evaluation tools for European forests. Criteria and indicators for sustainable forest management at the forest management unit level, EFI Proceedings, n°38, pp 75-81.
- LARSSON T-B.. 2001b. Biodiversity evaluation tools for European forests. Ecological bulletins n°50. Report from the EU-FAIR project CT-3575. 237 p.
- LINDENMAYER D.B., MARGULES C.R., BOTKIN D.B.. 2000. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. Conservation Biology n°14, pp 941-950.
- MIRAMBEAU S.. 2003. Systèmes d'information et d'observation environnementales des forêts à l'échelle régionale – Etat des lieux et perspectives d'évolution en Aquitaine. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre d'Ingénieur des Techniques Agricoles. 45 p.
- MORETTI M., OBRIST M.K., DUELLI P.. 2004. Arthropod biodiversity after forest fires: winners and losers in the winter fire regime of the southern Alps. Ecography n°27, pp 173-186.
- PONTCHARRAUD L.. 2002. Structure du paysage et biodiversité en forêt landaise. Rapport de stage DESS Sciences de l'Information Géoréférencée pour la Maîtrise de l'environnement et l'Aménagement du territoire. 59 p.

- SALAMENS J-C.. 2001. Estimation d'indicateurs de gestion durable des forêts : étude de faisabilité à l'échelle d'une petite région forestière. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre d'Ingénieur des Techniques Agricoles. 55 p.
- SUCHANT R., BARITZ R.. 2001. A species-habitat-model for the improvement and monitoring of biodiversity in modern ecological silviculture. Criteria and indicators for sustainable forest management at the forest management unit level, EFI Proceedings, n°38, pp 109-122.
- VINSOT S.. 2001. Mise en œuvre d'indicateurs des fonctions environnementales, pour une gestion durable de la forêt fragmentée en région Midi-Pyrénées. Rapport de stage pour le Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées « Economie Agricole Internationale ». 51 p.

Sites Internet :

- AGORA 21, (consulté le 04.04.2004). Agenda 21, un engagement pour le développement durable, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.agora21.org/bibliotheque.html>
- Convention sur la Diversité Biologique, (consulté le 13.04.2004). Convention sur la diversité biologique, texte de la convention, [en ligne].
Adresse URL : <http://www.biodiv.org/convention/articles.asp?lg=2>
- European Environment Agency, (consulté le 01.06.2004). EUNIS Habitat Classification, [en ligne].
Adresse URL : <http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/EUNIS/home.html>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, (consulté le 13.04.2004). Evaluation des ressources forestières mondiales 2000, [en ligne].
Adresse URL : www.fao.org/forestry/site/fra2000report/fr
- MCPFE, (consulté le 04.04.2004). Pan-European Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management. [en ligne]. Adresse URL : <http://www.mcpfe.org/index.php?kat=4&sel=4>

Documents électroniques :

- BARBARO L., PONTCHARRAUD L., VETILLARD F., JACTEL H. Biodiversity indicators at stand and landscape scales in pine plantation forests. IUFRO Conference "Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe". 12-15 novembre 2003, Florence. Bordeaux : INRA, 2003.
- JACTEL H., (consulté le 02.04.2004). INDIBIO, a FORSEE experimental pilot study. 30 janvier 2004, Bordeaux [en ligne]. Bordeaux : INRA, 2004.
Adresse URL : <http://www.iefc.net/intranet>
- ORAZIO C., (consulté le 02.04.2004). FORSEE First management council. 19 décembre 2003, Lisbonne [en ligne]. Bordeaux : IEF, 2003. Adresse URL : <http://www.iefc.net/intranet>
- ORAZIO C., (consulté le 02.04.2004). FORSEE First technical committee. 30 janvier 2004, Bordeaux [en ligne]. Bordeaux : IEF, 2004. Adresse URL : <http://www.iefc.net/intranet>

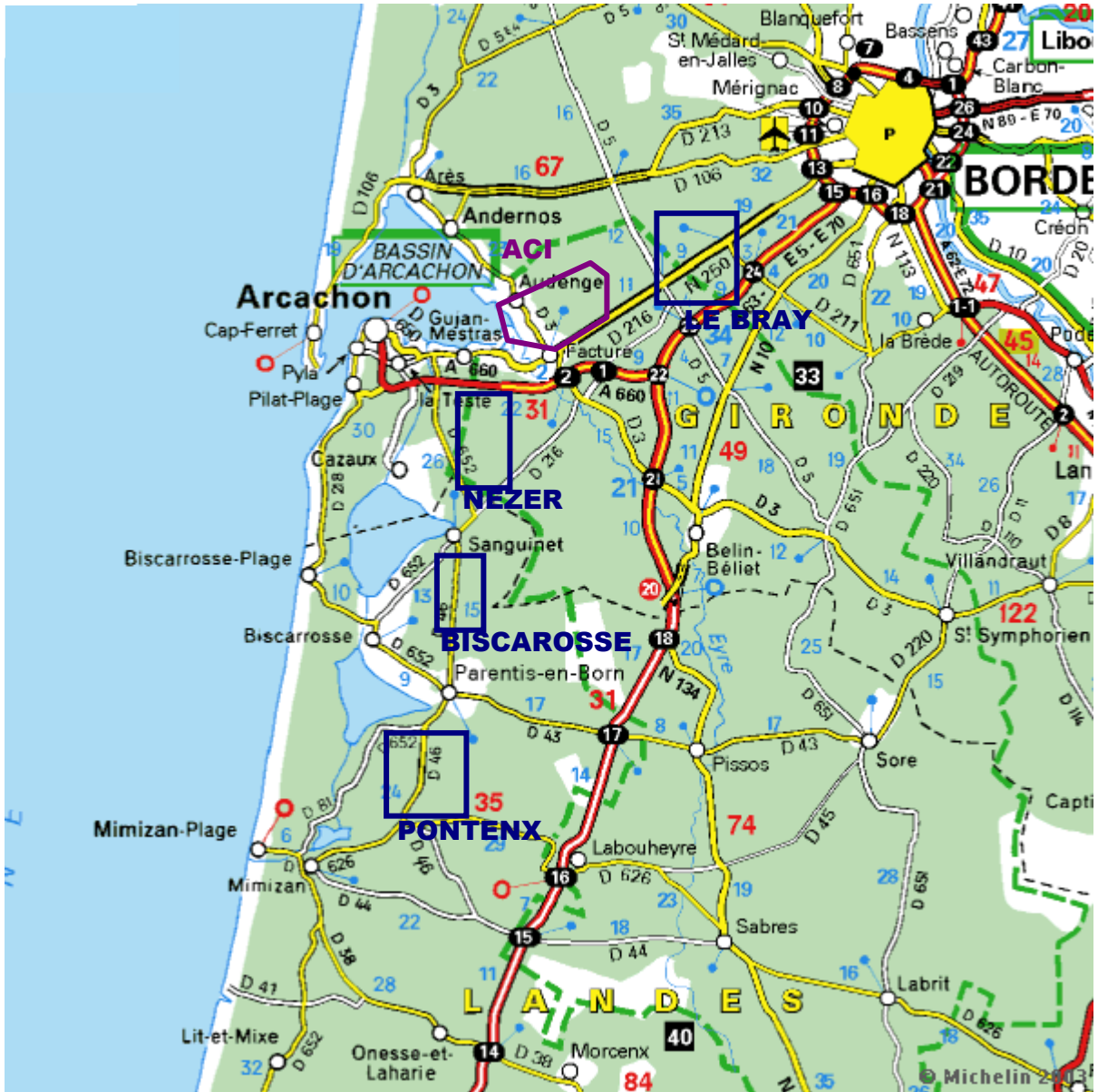
ANNEXES

ANNEXE 1 LOCALISATION DES SITES D'ÉTUDES : LE RÉSEAU ISLANDES ET LA ZONE ACI...39

**ANNEXE 2 EXEMPLE DE L'ENSEMBLE DES DONNÉES DISPONIBLES POUR UNE PARCELLE
ACI.....40**

.....40

Annexe 1 Localisation des sites d'études : le réseau ISLANDES et la zone ACI



Source du support : Viamichelin, <http://www.viamichelin.com>, 2004

Légende :

- Parcelles du réseau ISLANDES
- Parcelle de la zone ACI

5 km
|—————|

Localisation des cinq zones supports de l'étude au sein des Landes de Gascogne

Annexe 2 Exemple de l'ensemble des données disponibles pour une parcelle ACI

- **Données d'échantillonnage de la biodiversité à l'échelle de la parcelle**

N°	birdr	carabr
E16	16	3

- **Données qualitatives à l'échelle de la parcelle**

N°	codv	comp	rege	nat	intro	codh	code	form	canoph	canopc
E16	Vie3	Feuillus	P. ineq	S. ext	E.nat	Hab8	G1	Linéaire	≥ 7 m	100 %

- **Données quantitatives à l'échelle de la parcelle**

N°	area	perim	height	covtree	covshrub	shape
E16	6064	583	20	/	90	2,112

- **Données quantitatives à l'échelle du paysage**

- Typologie « Vienne », 200 m :

N°	VNP	VED	VAREA_MN	VSHAPE_AM	VFRAC_AM	VENN_MN	VSHDI	VSHEI	% Vie1	% Vie2	% Vie3	% Vie4
E16	7	182,54	1,8000	2,0070	1,1363	27,7990	0,66	0,48	81,75	0,00	7,62	0,00

- Typologie « Vienne », 500 m :

N°	VNP	VED	VAREA_MN	VSHAPE_AM	VFRAC_AM	VENN_MN	VSHDI	VSHEI	% Vie1	% Vie2	% Vie3	% Vie4
E16	69	168,87	1,1388	2,0289	1,1209	38,1158	1,30	0,73	57,60	0,00	4,86	0,00

- Typologie « Habitat », 200 m :

N°	HNP	HED	HAREA_MN	HSHAPE_AM	HFRAC_AM	HENN_MN	HSHDI	HSHEI	% Hab1	% Hab2	% Hab3	% Hab4	% Hab5	% Hab6	% Hab7	% Hab8
E16	9	209,52	1,4000	1,9729	1,1353	27,9376	1,01	0,63	12,70	0,00	69,05	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62

- Typologie « Habitat », 500 m :

N°	HNP	HED	HAREA_MN	HSHAPE_AM	HFRAC_AM	HENN_MN	HSHDI	HSHEI	% Hab1	% Hab2	% Hab3	% Hab4	% Hab5	% Hab6	% Hab7	% Hab8
E16	72	178,04	1,0914	1,9858	1,1183	59,4140	1,83	0,83	6,08	7,53	40,62	3,36	0,00	0,00	0,00	4,86

- Typologies « Vienne » et « Habitat », types non-forestiers :

N°	200 m						500 m					
	%E1	%E2	%FA	%F4	%G5	%I1	%E1	%E2	%FA	%F4	%G5	%I1
E16	0,00	0,00	0,00	2,62	0,00	0,00	4,19	0,00	0,00	11,92	16,31	0,00