



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

MASTER FAGE
Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et
l'Environnement

Spécialité
Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes

MISE EN PLACE D'UNE ANALYSE PAYSAGERE A
L'ECHELLE DU TERRITOIRE PREALABLE A LA MISE EN
REVISION DE LA CHARTE DU PARC NATUREL REGIONAL
DE LORRAINE

LAMBERT Jonas

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 06/09/2010

Maître de stage : MICHEL Nadia, maître de conférence

Structure d'accueil : Le Laboratoire Agronomie Environnement de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de d'Industrie Agro-alimentaire de Nancy.



REMERCIEMENTS

Je teins tout particulièrement à remercier Nadia Michel, mon maître de stage, qui a su m'encadrer ne me laissant une grande autonomie dans le travail, ce qui m'a permis de m'impliquer aisément dans le projet. D'un point de vue humain, ses compétences pédagogiques, son écoute et sa sympathie ont été pour moi d'une aide précieuse.

Je remercie le personnel du Laboratoire Agronomie Environnement. Mes pensées vous particulièrement à Béatrice Noitrin, technicienne SIG, qui a su faire preuve, en plus d'une précieuse compétence technique, de l'écoute et de la patience nécessaire à mon apprentissage de diverses techniques et concepts liés à mon travail. Je remercie Sylvain Plantureux, Bernard Amiaud et Etienne Gaujour pour leurs explications ponctuelles mais indispensables.

Je remercie Anne Philipczyk, chargée de Mission Paysage et Aménagement au sein du Parc Naturel Régional de Lorraine, pour son implication dans son travail, sa forte expertise des paysages et des problématiques d'aménagement au sein du Parc.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
MATERIEL ET METHODE	2
A. Site d'étude	2
B. Mise en place de la méthodologie de l'observatoire du paysage	2
B.1 Echantillonnage du paysage	2
a Stratégie spatiale d'échantillonnage	2
b. Stratégie temporelle d'échantillonnage	3
B.2 Numérisation de l'occupation des sols	4
a. Définition de la typologie de l'occupation du sol	4
b. Numérisation du territoire sous S.I.G	5
C. Paramètres spatiaux du paysage et indices	7
C.1 Préparation des données « vecteurs » pour le calcul d'indices, via Fragstats® - rasterisation	7
a. Fragstats® (McGarigal & Marks, 1994)	7
b. « Rasterisation »	8
C.2 Choix des indices à calculer	8
a. Composition - proportion des différentes occupations du sol	8
b. Structure - Fragmentation des éléments du paysage	8
c. La connectivité des éléments du paysage	10
d. Hétérogénéité du paysage	11
C.2. Récapitulatif des indices retenus	12
RESULTATS	13
A. Composition et structure des unités paysagères à la date 1	13
A.1 Analyses des indices par unité paysagère à la date 1	13
a Composition - Proportions d'occupation du sol	13
b. Fragmentation des milieux forestiers, des milieux herbacés et des cultures (cf figure 8 ci-contre)	14
c. Connectivité des milieux forestiers et des milieux herbacés (cf figure 9 ci-contre)	14
d. Hétérogénéité du paysage (cf figure 10 ci-contre)	14
A.2 Comparaison de la composition et de la structure entre les zones NATURA 2000 et les zones « ordinaires »	14
A.3 Interprétation	14
B. Evolution du paysage	15
B.1 Evolution de la composition (cf figure 11)	15
B.2. Evolution de la fragmentation des milieux forestiers, herbacés et des cultures (cf figure 12)	16
B.3 Evolution de la connectivité des milieux forestiers, herbacés et des cultures (cf figure 13)	16
B.4 Evolution de l'Hétérogénéité du paysage (cf figure 14)	16
DISCUSSION	17
A. Échantillonnage, Typologie et photo-interprétation	17
A.1 Échantillonnage	17
A.2 Typologie et photo-interprétation	17
B. Indices	18
C. Cohérences des unités paysagères prédéfinies par le P.N.R.L	18
D. Evolution de la composition et de la structure du paysage	19
E. Comparaison des données linéaires et des données surfaciques de haies	19
F. Perspectives du projet	20
F.1 Ce projet en base d'un observatoire du paysage du P.N.R.L sur le plus long terme	20
F.2 Une base de données importante pour des études à vocation agro-écologique	20
BIBLIOGRAPHIE	22

Introduction

Au vu de la forte anthropisation des espaces durant le XXI^{ème} siècle, les paysages européens sont en pleine mutation. La modification des techniques agricoles, notamment la forte avancée de la mécanisation, et l'extension urbaine, sont les deux principales pressions exercées sur le paysage. Suite à ce constat et ses conséquences sur la diversité floristique et faunistique, différents programmes d'observation du paysage ont été mis en place en Europe, afin de caractériser les évolutions de celui-ci sur le long terme.

Dans une optique de gestion durable des espaces, les Parcs Naturels Régionaux ont été créés en France, en 1967, intégrant les particularités culturelles, environnementales et économiques des territoires.

Le Parc Naturel de Lorraine (P.N.R.L.), divisé en une partie « Est » et une partie « Ouest », est composée de paysages divers. Il est constitué à la fois de secteurs à prédominance agricole, de secteurs riches en milieux humides, de secteurs riches en milieux forestiers (...). Le territoire du P.N.R.L présente une forte activité agricole, ce qui peut être à l'origine de modifications du paysage. Pour présenter le contexte géographique général de l'étude, observons les statistiques de l'occupation du sol de l'AGRESTE pour la Lorraine, en 1998 (Agreste, Teruti-Lucas 2008) : 30,14 % de sols cultivés, 38,12 % de surfaces boisées, 20,47 % de surfaces toujours enherbées et 7,51 % de sols artificialisés.

Dans le cadre de la révision de sa charte, le Parc Naturel Régional de Lorraine (P.N.R.L), afin d'alimenter sa réflexion et ses connaissances sur son territoire, a initié divers bilans (touristique, culturel, écologique...), parmi lesquels une analyse paysagère de son territoire. Cette étude a trois objectifs distincts : (1) mettre en place une méthodologie rigoureuse et reproductible sur le long terme, à l'image de divers observatoires du paysage initiés en Europe ces dernières décennies, basé sur le travail d'écologues et de géographes, (2) décrire via la méthode mise en place, le paysage, que ce soit tant par sa composition que sa structure et (3) mettre en évidence les évolutions des paysages du P.N.R.L sur un pas de temps de 10 ans et sur un plus long terme.

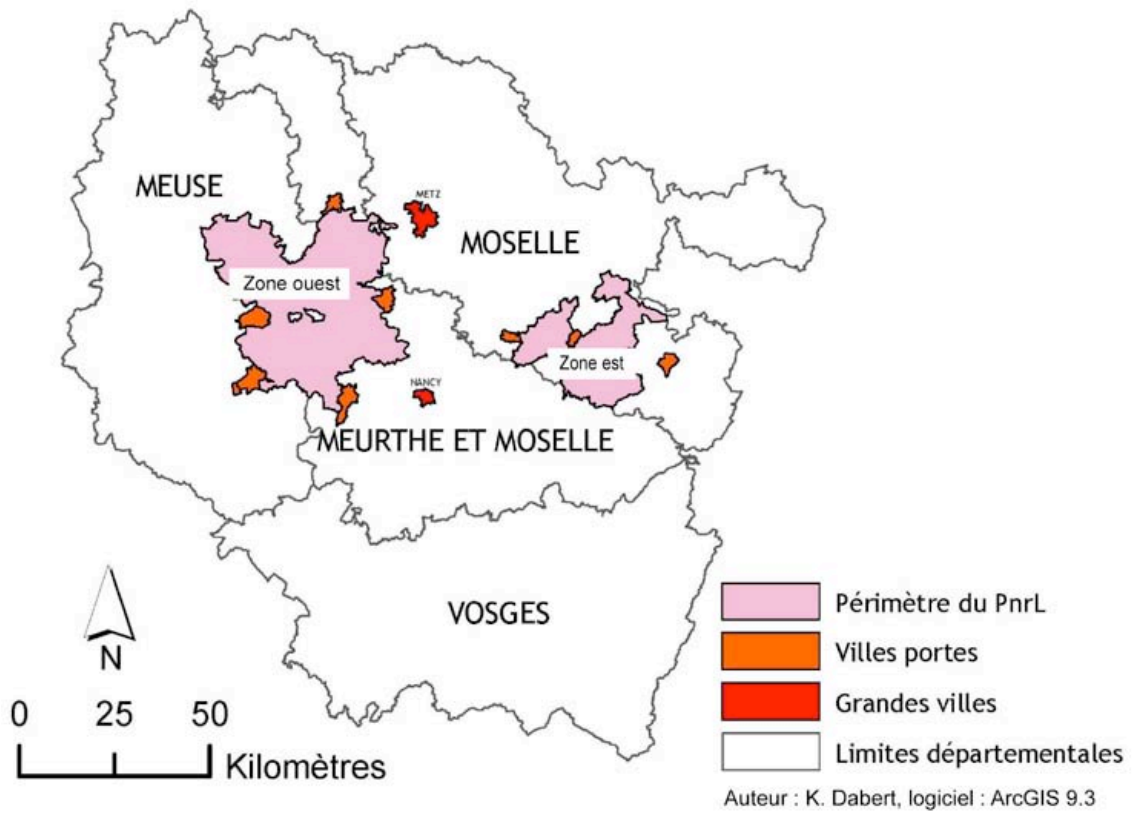
Un paysage peut être analysé via ses caractéristiques spatiales, concrétisés par des indices rendant compte de sa composition et de sa structure. (Dirk M Washer & al 1999). L'interprétation de ces indices et les conclusions sous-jacentes ont vocation à caractériser de la manière la plus précise et la plus objective possible le paysage et son évolution.

Cette étude, visant à créer un véritable observatoire du paysage du territoire du P.N.R.L, est menée à la fois par le C.E.R.P.A (Centre d'Etude et de Recherche sur le Paysage) de l'Université Nancy II et le L.A.E (Laboratoire Agronomie Environnement) de l'I.N.P.L. (Institut National Polytechnique de Lorraine), pour ses compétences en écologie du paysage, en agronomie et sur les réseaux écologiques. De manière plus précise, le travail fourni durant le stage, au sein du L.A.E, s'articule autour de la mise en place de la méthodologie de l'observatoire du paysage, d'une partie de la numérisation du paysage sous S.I.G (Système d'Information Géographique), de l'extraction et de l'interprétation des premiers résultats.

Ce stage correspond donc à la phase initiale d'un projet, visant à créer un véritable observatoire des paysages du territoire du P.N.R.L, en mettant en place une méthodologie rigoureuse et reproductible.

Dans un premier temps, le matériel et la méthodologie mise en place seront présentés. Dans une seconde partie, les résultats, que ce soit l'analyse quantitative et qualitative du paysage à l'état initial et l'évolution du paysage, seront explicités. Enfin, une réflexion sur le travail de mise en place de la méthodologie ainsi que l'interprétation des premiers résultats, viendront étayer cette étude.

Localisation du PnrL en Lorraine



0 30 km

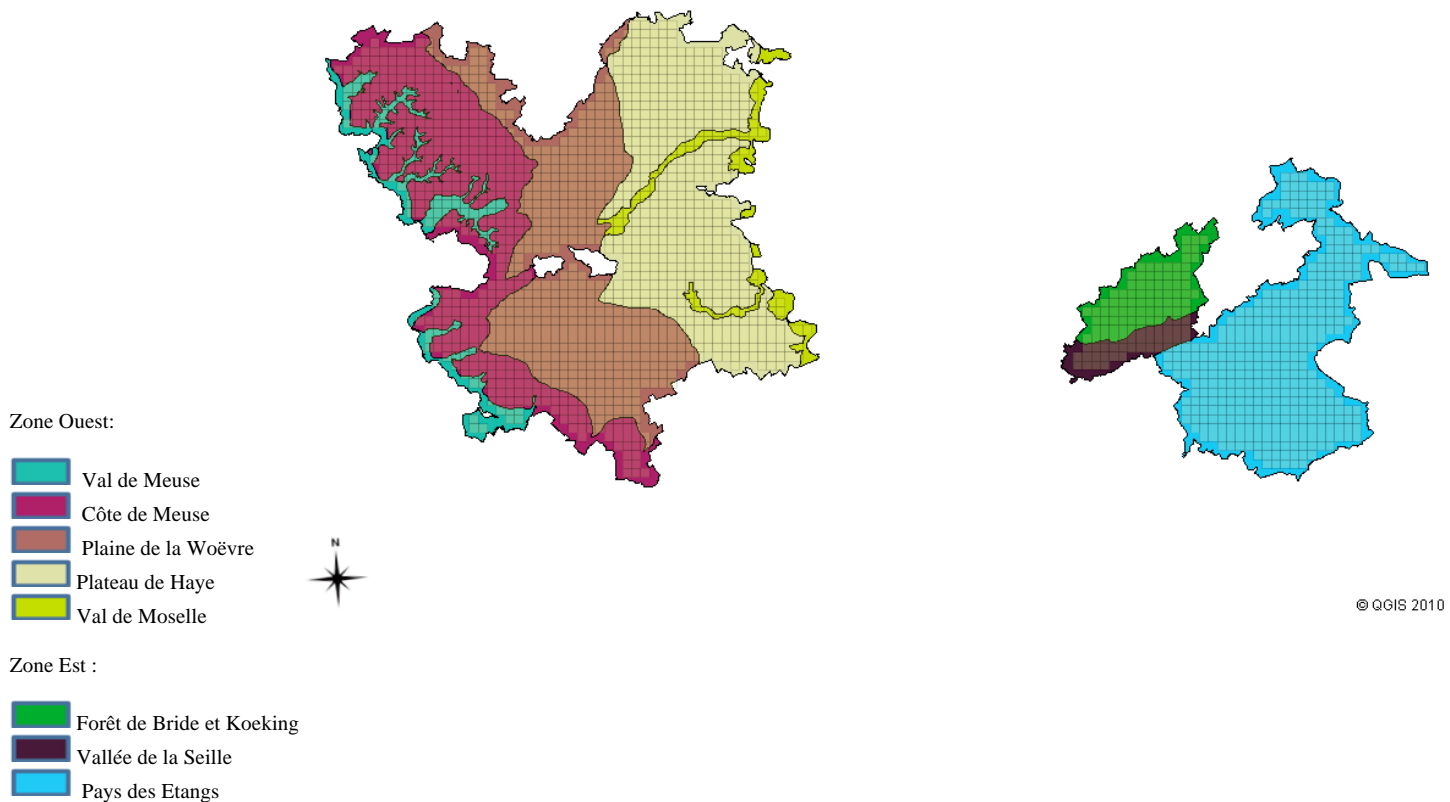


Figure 1: Localisation du P.N.R.L et ses unités paysagères

Matériel et méthode

A. Site d'étude

S'étendant sur 2194 km², le territoire du P.N.R.L est constitué de deux parties subdivisées en 8 unités paysagères (U.P) (cf. Figure 1)

- Une partie « Ouest » composée du val de Meuse, des côtes de Meuse et de Toul, de la plaine de la Woëvre, du plateau de Haye et du Val de Moselle.
- Une partie « Est » composé du pays des Etangs, de la vallée de la Seille et de la forêt de Bride et Koeking.

B. Mise en place de la méthodologie de l'observatoire du paysage

B.1 Echantillonnage du paysage

Au vu de la taille du P.N.R.L et de l'impossibilité de numériser assez finement l'ensemble de son territoire, une stratégie d'échantillonnage prenant en compte les unités paysagères a dû être réfléchi pour que l'échantillonnage soit représentatif des paysages du P.N.R.L.

Des zones d'études de 1km² sont fréquemment utilisées dans des programmes de Monitoring du territoire, en Europe. Au Royaume-Uni, par exemple, le suivi du territoire se fait via l'analyse des changements des occupations du sol au sein de 508 carrés de 1 km², repartis aléatoirement au sein du territoire, lui même divisé en 6 grandes zones environnementales (*Methodology of Countryside Survey 2000 Module 1*).

D'un point de vue technique, les ortho-photographies utilisées pour la numérisation des éléments du paysage (parcelles agricoles, haies, forêts...) sous S.I.G, proviennent de l'I.G.N (Institut Géographique National). Ces ortho-photographies sont de 1 km² et sont capturées de manière systématique sur une grille constante au cours du temps. Ceci permet d'avoir une grille de 1 km² en support de l'échantillonnage.

Le but de l'étude est d'étudier de manière très fine le paysage, c'est à dire en intégrant des éléments de faible surface comme par exemple les arbres isolés, les haies ou les bandes enherbées, qui ont une importance écologique majeure. L'échelle de 1 km² permet de numériser le paysage de manière fine et précise, en prenant en compte les éléments semi-naturels disparates tels que ceux cités ci-dessus (*Persson & al, 2010*). La stratégie d'échantillonnage, d'un point de vue spatial et temporel, vous est présentée ci-dessous.

a Stratégie spatiale d'échantillonnage

Une demande du P.N.R.L était de caractériser la composition et la structure du paysage des 8 unités paysagères qui composent son territoire. Il convenait donc d'échantillonner des carrés d'études de 1 km² au sein de ces unités paysagères.

Dans le cadre de notre étude, un échantillonnage stratifié a permis de définir des carrés d'études de 1 km², au sein du territoire. L'échantillonnage découle de plusieurs problématiques : Les paysages ont-ils une composition et une structure différente, entre les unités paysagères ? Existe-t-il une différence de composition et de structure entre les paysages à (l'éponge)et à l'extérieur des zones NATURA 2000, sujettes à des politiques d'aménagement spécifiques ?

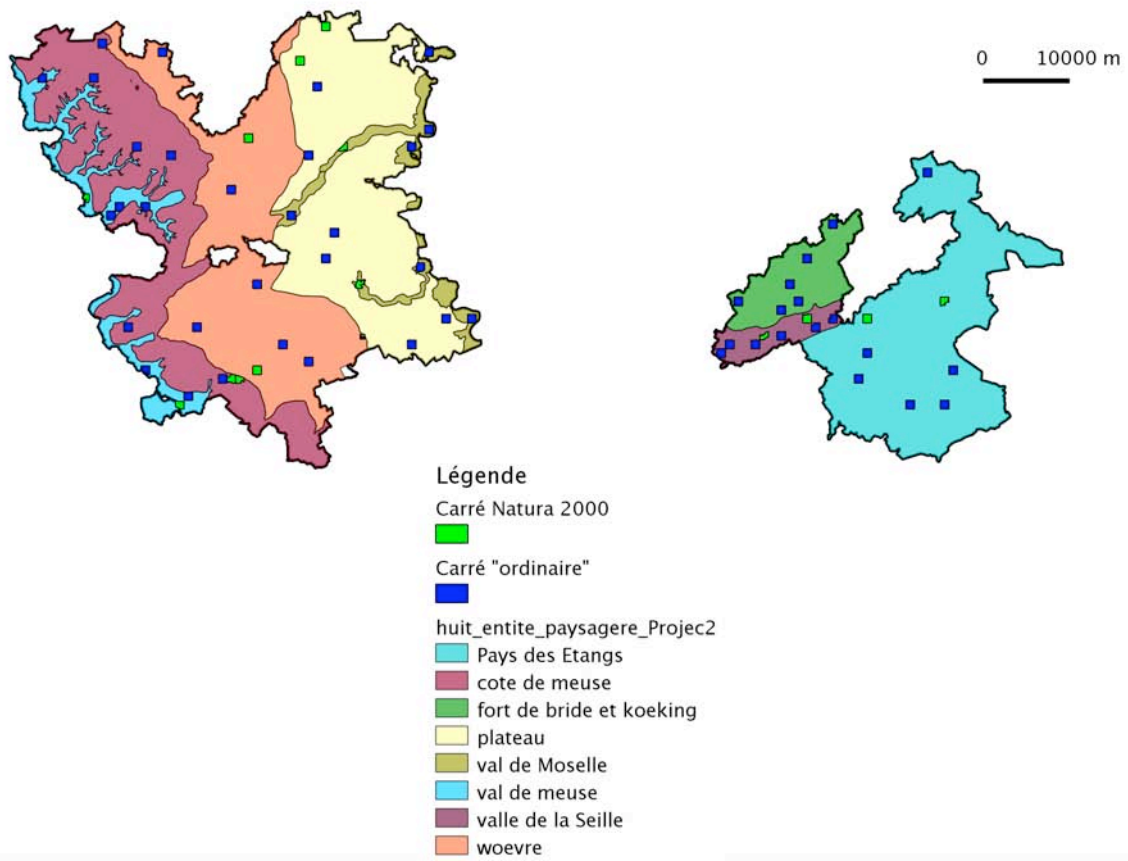


Figure 2: Représentation de l'échantillonnage

L'échantillonnage s'est déroulé de la manière suivante (cf Figure 2) :

Pour chaque unité paysagère du P.N.R.L : Six carrés d'études ont été échantillonnés de manière aléatoire dans les paysages dits « ordinaires », c'est à dire hors NATURA 2000 et deux l'on été au sein du réseau NATURA 2000 de l'unité paysagère. Le caractère aléatoire de l'échantillonnage permet d'échantillonner de manière objective. L'intégration de carrés d'études au sein de paysage hors NATURA 2000, et de carrés d'études au sein de zones NATURA 2000 s'explique par (1) la volonté d'analyser les paysages du P.N.R.L dans la totalité de son territoire et (2) d'évaluer les impacts paysagers qui peuvent découler d'un aménagement du territoire modulé par des mesures agro-environnementales, en zone NATURA 2000.

En définitive, l'échantillonnage correspond à 8 carrés d'étude par unité paysagère, sauf pour l'unité des côtes de Bride & Koeking, dénuée de zones NATURA 2000, qui en comporte donc 6. 62 km² (8 Unités paysagères * 8 carrés d'études – les deux zones NATURA 2000 inexistantes des côtes de Bride et Koeking) ont donc été numérisés sous S.I.G, sur les 2194,39 km² du P.N.R.L soit environ 2,8% du territoire.

La couverture du territoire, au sein de notre étude est du même ordre de grandeur que d'autres études paysagères basées sur la même taille d'échantillon de paysage (*Persson & al, 2010* avec 0,94% du territoire numérisé). En comparaison, l'observatoire du paysage mis en place au Royaume-Uni (Countryside Survey 2000) est basé sur l'analyse des évolutions du paysage au sein de 568 carrés de 1 km², pour un territoire de 240 000 km², soit environ 0,24 % du territoire.

Certaines unités paysagères du P.N.R.L comportent des carrés qui ne sont pas compris entièrement à l'intérieur de leurs zones d'échantillonnage (« ordinaire » ou NATURA 2000). Pour les carrés à cibler dans les espaces NATURA 2000 (souvent de faible superficie ou de forme étriquée), il était souvent difficile d'avoir des carrés à 100% dans les espaces NATURA 2000. Ceci nécessite de considérer aussi les carrés contenant 80%, 70%, voire 50% d'espace NATURA 2000, afin de constituer un pool « échantillonnable » suffisant, dans lequel on tire au sort les carrés de l'étude. On a considéré le pool de carré « échantillonnable » suffisamment important quand il était au minimum trois fois supérieur au nombre de carré à échantillonner. Les échantillonnages au sein des unités paysagères des côtes de Meuse, des côtes de Moselle et de la vallée de la seille ont été particulièrement modulés.

b. Stratégie temporelle d'échantillonnage

Pour mettre en évidence les évolutions paysagères, dans le temps, le choix des dates est lié à la disponibilité du support de numérisation, à savoir les ortho-photographies fournies par l'I.G.N. Celles-ci sont disponibles pour l'intégralité du territoire français, avec un pas de temps entre les campagnes photographiques de 5 ans. Néanmoins, les années de prises de vues ne sont pas les mêmes pour les différents départements. Dans le cas de notre étude, le territoire du P.N.R.L s'étale sur 3 départements : La Meuse, La Meurthe & Moselle et La Moselle. Les dates des campagnes photographiques pour les différents départements sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Table 1: Dates de prise de vue et disponibilité actuelle des ortho-photographies (en gris)

	Date 1	Date 2	Date 3
Meuse	2002	2007	2012
Meurthe & Moselle	1999	2004	2009
Moselle	1999	2004	2009

La date 3 et une partie de la date 2 (2007) n'étant pas encore disponibles (images en cours d'acquisition par le PNRL), seules les dates 1 et 2 (2004) n'ont pu être utilisées dans le cadre de ce stage (en gris dans le tableau). Ceci induit que l'analyse de caractérisation de la composition et de la structure du paysage a été faite sur la date 1 (la seule avec les trois départements) et que l'évolution du paysage n'a pu être analysée uniquement pour les 5 unités paysagères situés hors du département de la Meuse (le Plateau de Haye, le val de Moselle, les côtes de Bride & Koeking, la vallée de la Seille et le pays des Etangs), entre 1999 et 2004.

Après acquisition des photos manquantes, 10 années seront donc prises en compte, avec un pas de temps de 5 ans (3 dates). Ceci permettra d'avoir une évaluation graduelle de l'évolution du paysage.

B.2 Numérisation de l'occupation des sols

a. Définition de la typologie de l'occupation du sol

Pour bien caractériser le paysage, il faut bien définir la typologie de l'occupation du sol que l'on va utiliser. On est confronté à différents paramètres entre lesquels il faut trouver un compromis :

- La précision de la typologie, nécessaire à une représentation la plus exacte de l'occupation du sol réelle.
- La photo-interprétation, qui ne permet pas de distinguer avec certitude deux milieux très proches et ne fournit pas de données sur les rotations et les pratiques agricoles.
- La reproductibilité du protocole dans le long terme.

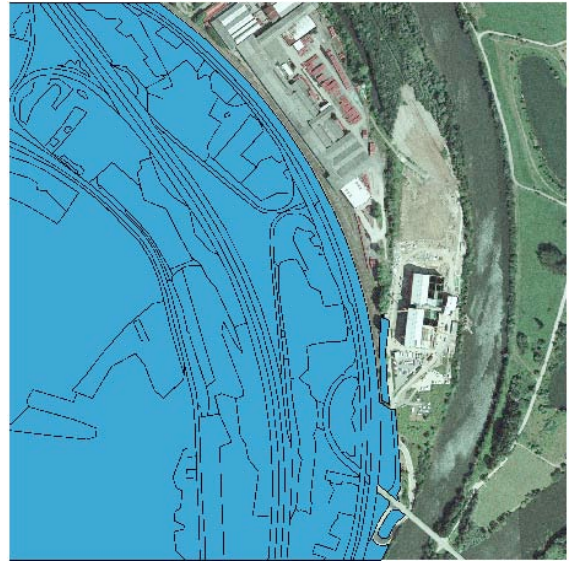
La typologie retenue comporte 6 types d'occupation du sol pour sa version simplifiée, agrégée, et 13 types d'occupation du sol pour sa version détaillée.

Table 2: Typologie simplifiée et détaillée

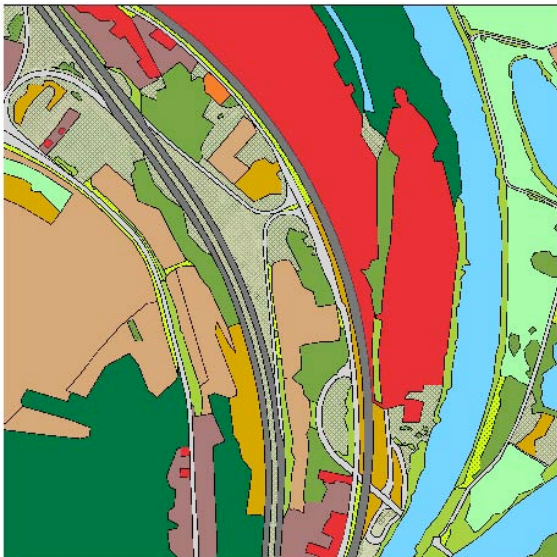
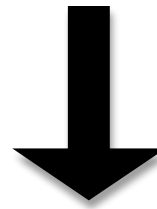
Typologie simplifiée	Typologie détaillée
Milieux forestiers	Haies
	Arbres isolés
	Forêt
	Friche arbustive
Milieux herbacés	Prairies
	Pelouses
	Milieux herbacés autres
Cultures	Cultures
Vergers	Vergers
Milieux aquatiques	Milieux aquatiques
Milieux anthropisés s.s	Bâti
	Jardins & potagers
	Voies de communications



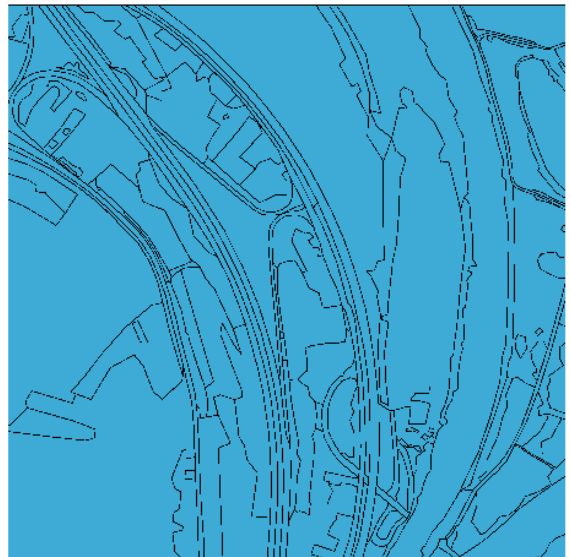
Ortho-photographie I.GN du carré d'étude



Les polygones sont tracé dans une couche vectorielle.



Tous les polygones sont renseignés vis à vis de l'occupation du sol.



Tous les polygones sont tracés. Il n'y a plus aucun espace non numérisé.

	occsol	MINX	MINY	MAXX	MAXY	CNTX	CNTY	AREA
0	rou	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	17750.7541503906
1	rou	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	12864.1647949219
2	rou	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	13305.7176513672
3	her	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	11813.8824462891
4	che	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	2690.97436523438
5	che	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	3043.04528808594
6	che	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	10999.2927246094
7	che	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	2761.37768554688
8	che	877000	2430000	878000	2431000	877500	2430500	122.127563476562

Table attributaire de la couche finale

Figure 3: Séquence de numérisation de l'occupation du sol d'un carré d'étude

b. Numérisation du territoire sous S.I.G

Les zones d'études ont été numérisées sous le logiciel Quantum GIS 1.3 Mimas® et le logiciel ArcGIS 9.x®, via des ortho-photographies de 1 km², prises par l'Institut Géographique National (I.G.N).

Les types d'occupation du sol ont été numérisés sous forme de polygones, sur une couche « vecteur » par carré d'étude. La totalité des carrés d'étude de la date 1 (1999 et 2002) ont été numérisés.

i. Matériel

Les premiers carrés d'études numérisés ont été ceux de la date 1. Dans un souci de minimiser l'impact des erreurs de numérisation, les différents carrés d'études de la date 1 n'ont pas été numérisés dans un ordre précis (unité paysagère par unité paysagère) mais dans un ordre aléatoire.

- Qualité des ortho-photographies

Les ortho-photographies fournies par l'I.G.N présentent parfois des différences de teintes, de couleur et de netteté, notamment pour un même carré d'étude, à différentes dates. La présence d'ombre, du fait des différentes heures de prises de vues, ne facilite pas toujours une précision optimale dans la numérisation des contours, notamment ceux des haies et des lisières forestières.

- Les logiciels S.I.G et les apports aux études paysagères

Le P.N.R.L a initié cette étude en faisant appel à deux de leurs partenaires : Le C.E.R.P.A pour un volet intégrant des analyses qualitatives du paysage, en y intégrant des notions historiques et socio-économiques, et le L.A.E pour une analyse quantitative du paysage. Dans l'optique d'une analyse quantitative, les apports des logiciels S.I.G sont conséquents et offrent la possibilité d'analyser le paysage avec un maximum d'objectivité. Néanmoins, des démarches qualitatives sont nécessaires pour intégrer des perceptions visuelles et des considérations patrimoniales qui ne peuvent pas être évincés dans une recherche de caractérisation exhaustive du paysage.

Selon Thierry Joliveau, l'utilisation de S.I.G devient incontournable quand les problématiques traitées sont distinctes de considérations esthétiques et font appel à des notions d'aménagement, des notions écologiques ou à une réflexion collective sur le devenir d'un territoire, comme celui du P.N.R.L par exemple (Joliveau, 2003).

ii. Séquence de numérisation pour la date 1

Pour numériser l'occupation du sol d'un carré d'étude, une couche vectorielle a été créée et l'ensemble des polygones la composant ont été tracés. Chaque polygone correspond à un élément du paysage comme une haie, une parcelle agricole ou une route par exemple. Dans un premier temps, aucun polygone n'est renseigné, c'est à dire qu'ils ne sont pas encore associés à un type d'occupation du sol (de la typologie définie précédemment) (cf figure 3). Par la suite, les polygones sont renseignés vis à vis de leur occupation du sol (par photo-interprétation), mais aussi de leurs caractéristiques géométriques (aire et périmètre). Ces renseignements sont répertoriés au sein de la table attributaire de la couche.

A la fin de la numérisation de la date 1, 62 couches de polygones correspondant aux 62 carrés d'étude échantillonnés au sein du territoire, ont été créées, avec autant de tables attributaires associées.

iii. Séquence de numérisation à la date 2

Le matériel de départ est l'ortho-photographie à la date 2 et la couche d'occupation du sol à la date 1.

Pour numériser l'occupation du sol des carrés d'études à la date 2, l'occupation du sol à la date 1 a été visualisée par transparence, sur l'ortho-photographie de la date 2. On n'a pas redessiné intégralement l'ensemble des polygones de la couche vectorielle de la date 2. Ce sont les changements d'occupation du sol entre les deux dates considérées, qui furent enregistrés par modification des polygones (fusion, découpage, décalage des sommets) de la date 1, et par changement du renseignement de l'occupation du sol des polygones. Cette numérisation par modification de couche permet d'éviter d'importantes différences de numérisation entre les deux dates, et donc de ne numériser uniquement les changements liés à des changements réels d'occupation du sol entre les deux dates.

38 couches vectorielles (38 carrés d'étude) correspondant à l'occupation du sol à la date 2 ont été créées dans le cadre de stage, soit les carrés d'études des 5 unités paysagères pour lesquels les ortho-photographies de la date 2 étaient disponibles.

Cette méthode sera de nouveau employée, par la suite, pour numériser l'occupation du sol à la date 3, lorsque les ortho-photographies seront disponibles.

LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES

Les programmes de Systèmes d'Information Géographiques permettent de visualiser et d'analyser le territoire sous chacun de ses aspects (géologie, hydrologie, occupation du sol, propriété...). Le principe même des S.I.G repose sur la virtualisation du territoire, par des objets qui sont non dimensionné (point), en une dimension (lignes et courbes), en deux dimension (polygones), voire en trois dimensions (intégration de la topologie, intégration de bâtiments en trois dimensions...). Ces objets sont intégrés dans ce que l'on appelle des couches, qui sont superposables, permettant ainsi de visualiser plusieurs phénomènes. Le second apport des S.I.G est la possibilité de géo-reférencer ces couches, c'est à dire de donner des coordonnées aux objets. Enfin, les S.I.G permettent de créer de véritables tables de données, appelés tables attributaires, comportant divers données de différents types comme des données géométriques (aire, périmètre...), des données environnementales (trophie, météorologie...) ou encore des données administratives (propriété, prix...). Chaque couche, contenant soit des points, des lignes ou des polygones, a une table attributaire associée.

C. Paramètres spatiaux du paysage et indices

Durant la seconde partie du XX^{ème} siècle, au vu des fortes modifications des paysages et de la multiplication des programmes de conservation et de restauration d'habitat, une nouvelle discipline a émergé : L'écologie du paysage. Cette discipline est basée sur une écologie spatiale, étudiant comment la structure et la dynamique des paysages hétérogènes influent sur les phénomènes écologiques, et réciproquement (Turner, 1989) En France, l'exemple le plus connu de l'intégration des grands principes de cette discipline dans les politiques d'aménagement du territoire, est la Trame Verte et Bleue, initié par le Grenelle de l'Environnement en 2007 et intégré dans les P.L.U (Plan Locaux d'Urbanisme).

Avec l'essor de cette discipline, l'utilisation de variables métriques pour caractériser la structure du paysage et tester les liens entre celle-ci et des caractéristiques écologiques, est devenue indispensable (Burel & Baudry, 2003).

Des indices permettent d'évaluer la composition du paysage, comme la proportion d'occupation du sol des éléments du paysage ; et la structure du paysage, comme les indices de fragmentation et de connectivité de ses éléments, ou encore les indices d'hétérogénéité du paysage. C'est la comparaison d'indices de composition et de structure du paysage entre les différentes dates d'études qui permettra de mettre en évidence des modifications du paysage au sein du territoire du P.N.R.L. La composition du paysage correspond aux proportions d'occupations du sol, qui sont couramment calculées à l'aide des S.I.G. Pour quantifier la structure du paysage, la littérature scientifique, notamment les travaux de McGarigal & al, 1992, propose de nombreux indices spatiaux, relatifs à la fragmentation, la connectivité et l'hétérogénéité du paysage. Il convient donc d'observer les caractéristiques d'une liste exhaustive d'indices pour faire un premier choix. Ces indices seront alors calculés. Un second choix, définitif celui-là permettra de ne retenir que les quelques indices les plus pertinents.

Pour faciliter la compréhension des indices spatiaux, il convient de clarifier le vocabulaire employé. Trois termes, proposés de l'échelle la plus fine à la plus large, permettent de spécifier à quelle échelle ces différents indices font référence:

- Un « patch » est un élément du paysage, comme par exemple une haie ou une parcelle agricole.
- Une « class » est un type d'occupation du sol, comme par exemple les haies ou les parcelles agricoles dans leurs ensembles.
- « land » correspond au paysage dans son ensemble.

C.1 Préparation des données « vecteurs » pour le calcul d'indices, via Fragstats® - rastérisation

a. Fragstats® (McGarigal & Marks, 1994)

L'écologie du paysage implique l'étude des patrons paysagers. C'est dans une optique de création d'outils permettant de calculer facilement des indices dont la plupart sont des indices de fragmentation, de connectivité ou encore d'Hétérogénéité du paysage, que le logiciel Fragstats® fût mis au point. L'intérêt de ce programme réside essentiellement dans la possibilité de calculer de nombreux indices employés couramment dans la recherche scientifique, notamment dans les domaines de l'écologie du paysage et de l'écologie des communautés.

b. « Rastérisation »

Un raster est un fichier utilisé en S.I.G qui n'est pas constitué d'objets de forme comme une couche vectorielle, mais par des pixels, chaque pixel ne pouvant donner qu'une seule information. Les ortho-photographies I.G.N, par exemple, sont des rasters, c'est à dire qu'elles sont constituées de pixels juxtaposés de couleur définie.

Fragstats® utilise des rasters pour faire les calculs, c'est à dire que l'unité de base est le pixel. Il a donc fallu convertir les couches vectorielles en rasters en donnant à chaque pixel l'information sur l'occupation du sol. Les fichiers ainsi créés sont composés de, soit 13 types de pixels différents pour la typologie détaillée, soit 6 types de pixels différents pour la typologie simplifiée. Le grain des fichiers rasters est de 1m, c'est à dire que chaque pixel correspond à 1m².

C.2 Choix des indices à calculer

Les caractéristiques paysagères retenues dans un premier temps vous sont présentées ci-dessous :

a. Composition - proportion des différentes occupations du sol

Elle caractérise la proportion de la surface couverte par un type d'occupation du sol au sein du paysage.

$$PLAND_{class} = (A_{class} / A_{land}) * 100$$

Avec A_{class} l'aire d'une classe et A_{land} l'aire du paysage (ici : 1 km²)

b. Structure - Fragmentation des éléments du paysage

Concept : La fragmentation peut être définie de la manière suivante : « *une large superficie d'habitat est transformée en taches de petite superficie isolées les unes des autres par des habitats différents* » (Wilcove & al, 1986). C'est donc un concept évolutif qui repose sur des états de fragmentation à des moments donnés, qui peut être expliqué de la manière suivante : Avec une même proportion d'occupation du sol, plus le nombre d'éléments (patches) d'un type d'occupation du sol (class) est important et plus la forme des patches est complexe; plus ce type d'occupation du sol est fragmenté. La fragmentation est une notion fortement liée à la connectivité, explicitée ci-dessous. La fragmentation du paysage conduit à une perte de connectivité par diminution du nombre de patches, de leurs tailles et une augmentation de leur isolation (Fahrig, 2003).

Illustration du concept (figure 4 ci-contre)

La fragmentation est croissante de (a) à (c), pour une même superficie de chaque couleur, symbolisant nos types d'occupation du sol (Burel & Baudry, 2003)

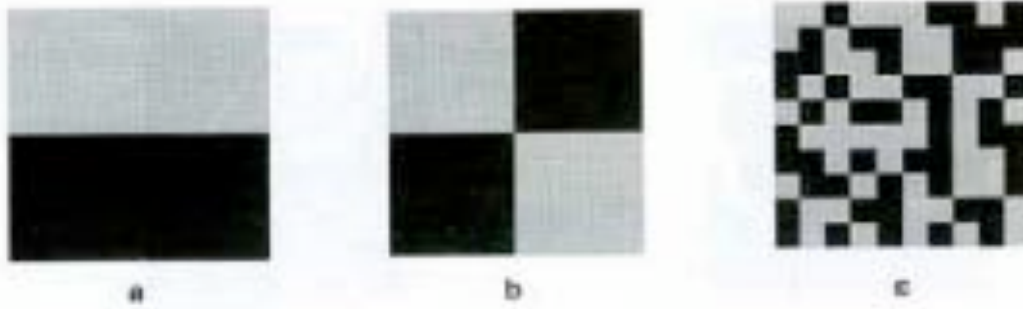


Figure 4: Fragmentation du paysage (Burel & Baudry, 2003)

Indices envisagés :

Différents indices de fragmentation ont été retenus dans un premier temps :

Table 3: Indices de fragmentation, avec n le nombre, P le périmètre, A l'aire, Pmin le périmètre minimal

Indice	Formule	Commentaires
Indice de dimension fractale FRAC_MN	$\text{FRAC_MN}_{\text{class}} = \Sigma (2 \ln (.25 \text{ P}_{\text{patch}}) / \text{A}_{\text{patch}}) / \text{n}_{\text{patch}}$	$1 \leq \text{FRAC_MN} \leq 2$, plus l'indice est fort, plus le type d'occupation du sol est fragmenté. Cet indice prend en compte la forme (intégration du périmètre).
Indice de forme SHAPE_MN	$\text{SHAPE_MN}_{\text{class}} = \Sigma (\text{P}_{\text{patch}} / \text{Pmin}_{\text{patch}}) / \text{n}_{\text{patch}}$	$\text{SHAPE_MN} \geq 1$, représente la complexité de forme réelle des patchs pris individuellement par rapport à la forme la plus simplifiée, pour chaque patch.
Indice de forme dans le paysage LSI _{class} et LSI _{land}	$\text{LSI}_{\text{class}} = \text{P}_{\text{class}} / \text{Pmin}_{\text{class}}$ $\text{LSI}_{\text{land}} = \text{P}_{\text{land}} / \text{Pmin}_{\text{land}}$	$\text{LSI} \geq 1$, représente la complexité de forme d'une classe (ou du paysage dans son ensemble) par rapport à une agrégation maximale des patchs de cette classe.

L'analyse de la fragmentation est pertinente pour des ensembles de même nature. La fragmentation des haies seules, par exemple, n'apporte que peu d'informations d'un point de vue écologique ; alors que la fragmentation des milieux forestiers dans leur ensemble offre une information plus complète en permettant d'évaluer la qualité du continuum forestier.

Dans une optique d'étude des habitats globaux, la fragmentation des milieux forestiers et celle des milieux herbacés ont été calculées. Dans une optique d'évaluation de l'agencement des parcelles de cultures permanentes dans l'espace, la fragmentation des cultures a été calculée.

3 indices différents ont été envisagés pour évaluer la fragmentation de 3 grands types d'occupation du sol (Milieux forestiers, Milieux herbacés et Cultures) : FRAC_MN et SHAPE_MN étant des moyennes d'indices de dimension fractale à l'échelle des « patchs » et LSI étant un indice de dimension fractale à l'échelle de la « class » (cf formules ci-dessus).

D'un point de vue de la discrimination, des études préliminaires (non présentées ici) ont montré que, au niveau des différentes unités paysagères, LSI est le plus intéressant. FRAC_MN est le moins discriminant et SHAPE_MN ne reflète pas les fortes différences de fragmentation entre les milieux forestiers d'une part et les cultures d'autre part.

Néanmoins, les tests de corrélations entre les différents indices envisagés, pour un même type d'occupation du sol, ne montrent pas de différences de variation entre les indices, pour chaque type d'occupation du sol.

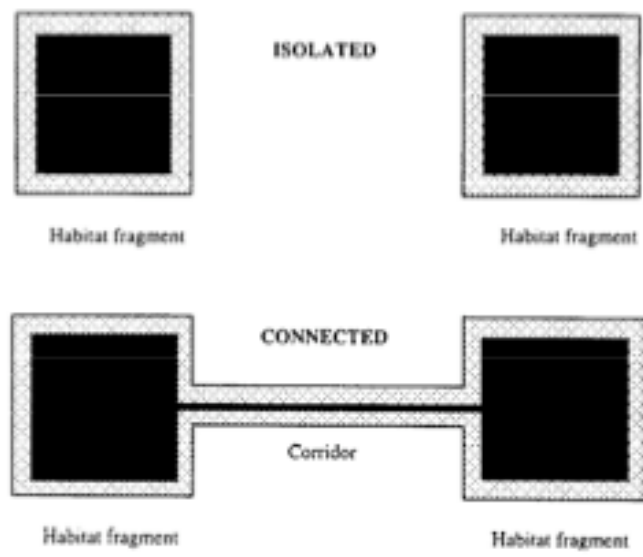


Figure 5: Connectivité du paysage (Burel & Baudry, 2003)

Table 4: Matrice de corrélation (Pearson) des indices de Fragmentation, p-values

	FRAC_MNcul	LSIcul	SHAPE_MNcul
FRAC_MNcul	!	0.0414	0.0000
LSIcul	0.0414	!	0.0113
SHAPE_Mcul	0.0000	0.0113	!
	FRAC_MNmfm	LSImf	SHAPE_MNmfm
FRAC_MNmfm	!	0.0000	0.0000
LSImf	0.0000	!	0.0282
SHAPE_MNmfm	0.0000	0.0282	!
	FRAC_MNmhm	LSImh	SHAPE_MNmhm
FRAC_MNmhm	!	0.0019	0.0000
LSImh	0.0019	!	0.0006
SHAPE_MNmhm	0.0000	0.0006	

Les critères de choix seront donc: (1) Le caractère discriminant de l'indice, entre les différentes occupations du sol et (2) la cohérence de la formule de l'indice.

L'indice retenu est donc LSI pour à la fois sont caractère fortement discriminant et sa formule, reflétant un degré de fragmentation réel vis-à-vis d'un état non fragmenté, facilitant grandement son appréhension.

c. La connectivité des éléments du paysage

Concept : La notion de connectivité est très importante en écologie, au niveau des déplacements de populations, mais aussi du point de vue du brassage génétique, indispensable au maintien d'une espèce. Plus des patches d'une « class » sont éloignés les un des autres, plus la connectivité de cette classe est faible.

Illustration du concept (figure 5 ci-contre)

Dans le premier cas (en haut), les éléments ne sont pas connectés. Dans le second cas, les éléments sont connectés par un élément linéaire. Ce schéma illustre tout particulièrement l'importance des éléments linéaires (haies, bandes enherbées...) dans la connectivité du paysage.

Indices envisagés

Différents indices de connectivité sont proposés dans la littérature, ceux-ci sont basés sur différentes notions, que ce soit la distance entre les habitats ou la proportion des différents habitats

Table 5: Indice de connectivité avec jonc les jonctions, n le nombre et distmin la distance

Indice	Formule	Commentaires
Indice de connectance CONNECT	$\text{CONNECT}_{\text{class}} = \frac{\sum(\text{jonc}_{\text{patch}})}{(n_{\text{patch}}(n_{\text{patch}}-1)/2)} * 100$	$0 \leq \text{CONNECT} \leq 100$, indice basé sur le nombre de jonction entre patchs autour d'un rayon donné
Indice de proximité PROX_MN	$\text{PROX_MN}_{\text{class}} = \frac{\sum(A_{\text{patch}})}{\text{distmin}_{\text{patch-patch}}^2}$	$\text{PROX_MN} \geq 0$, indice prenant en compte à la fois la distance entre les patchs mais aussi l'aire des patchs.

2 indices de connectivité sont donc envisagés pour caractériser la connectivité des milieux forestiers d'une part et des milieux herbacés d'autre part : CONNECT300 et PROX300, respectivement indices de « connectance » et de proximité. Le premier rend compte d'un pourcentage d'éléments du paysage de même type à une distance donnée (ici 300m) et le second de l'aire d'autres éléments du paysage du même type, présents dans un rayon donné (ici 300 m). La distance de 300m permet une prospection suffisante autour des « patchs ». Un rayon plus important créerait un biais important dans les calculs, au vu de la taille de 1 km² des carrés d'étude. En effet, les « patchs » en bordure de carré d'étude pourrait être considérés comme peu connectés, alors que d'un point de vue empirique, des connections présentes en dehors du carré d'étude lui conférerait une connectivité plus importante.

Dans une étude préliminaire (non présentée ici), il apparaît clairement que, du point de vue de leurs caractères discriminants. PROX300, qui varie entre des valeurs inférieures à 1000 et des valeurs supérieures à 8000 voir 14000 pour les milieux forestiers, est nettement plus discriminant que CONNECT300. Néanmoins, des variations si fortes favorisent les erreurs d'interprétation. En effet, il paraît difficile de considérer que la connectivité des milieux forestiers de l'unité paysagère « Côtes des Meuse de Toul » soit plus de 300 fois supérieure à celle du « Val de Meuse », la première étant composée, en moyenne, de sept fois plus de milieux forestiers que la seconde.

L'indice retenu est donc CONNECT300, au vu de la trop forte sensibilité de PROX300.

d. Hétérogénéité du paysage

Concept : L'hétérogénéité du paysage intègre à la fois la composition du paysage, c'est à dire le nombre de types d'occupation du sol présents, mais aussi les proportions de ces derniers. C'est une notion plus globale, intégrant les notions de fragmentation et de connectivité, appliquée uniquement au paysage.

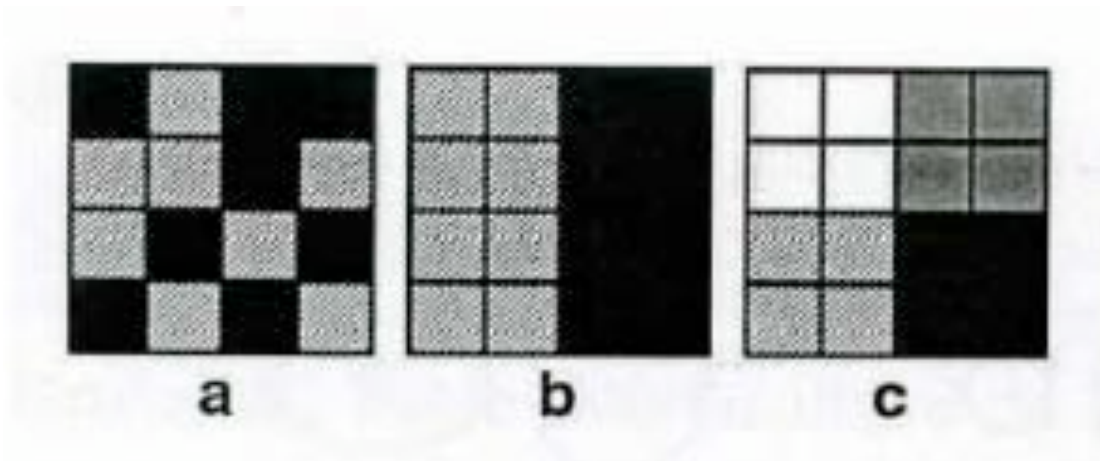


Figure 6: Hétérogénéité du paysage (Burel & Baudry, 2003)

Illustration du concept (figure 6 ci-contre)

De (b) à (a) : la fragmentation des classes implique une augmentation de l'hétérogénéité. De (b) à (c), une augmentation du nombre de classe implique également une augmentation de l'hétérogénéité. (Bruel & Baudry, 2003)

Indices envisagés

Les indices proposés dans la littérature sont basés sur la formule de l'hétérogénéité de Shannon et de Simpson (utilisés fréquemment en écologie des communautés). La différence principale, en termes d'interprétation, est la sensibilité aux classes minoritaires dans le paysage, plus importante pour l'indice de Shannon.

Table 6: Indice d'Hétérogénéité avec n le nombre et PLAND la proportion d'occupation du sol

Indice	Formule	Commentaires
Indice de diversité de Shannon SHDI	$SHDI_{land} = - \sum (PLAND_{class} * \ln PLAND_{class})$	$SHDI_{land} \geq 0$ Prise en compte importante des éléments minoritaires
Indice d'équitabilité de Shannon SHEI	$SHEI_{land} = SHDI_{land} / \ln n_{class}$	$0 \leq SHEI_{land} \leq 1$, Diversité du paysage par rapport à un paysage le plus diversifié possible
Indice de diversité de Simpson SIDI	$SIDI_{land} = 1 - \sum PLAND_{class}^2$	$SIDI_{land} \geq 0$
Indice d'équitabilité de Simpson SIEI	$SIEI_{land} = SIDI_{land} / (1 - (1 / n_{class}))$	$0 \leq SIEI_{land} \leq 1$, Diversité du paysage par rapport à un paysage le plus diversifié possible

4 indices furent envisagés pour caractériser l'Hétérogénéité du paysage : SHDI, SIDI, SHEI et SIEI (cf ci-dessus) et testés dans une étude préliminaire. Une représentation graphique de ces indices en fonction des unités paysagères permet de juger la sensibilité de ces indices. Des tests de corrélations entre les différents indices ont montré que tous les indices étaient corrélés entre eux (Pearson, $p < .0001$).

L'indice SHDI est le seul qui reflète les différences d'hétérogénéité entre les diverses unités paysagères. C'est donc celui-ci qui sera utilisé pour calculer l'hétérogénéité du paysage.

C.2. Récapitulatif des indices retenus

Les indices de structure retenus sont : LSI des milieux forestiers (LSImf), des milieux herbacés (LSImh) et des cultures (LSIcul) pour la fragmentation ; CONNECT300 des milieux forestiers (CONNECT300mf) et CONNECT300 des milieux herbacés (CONNECT300mh) pour la connectivité et SHDI pour l'Hétérogénéité du paysage.

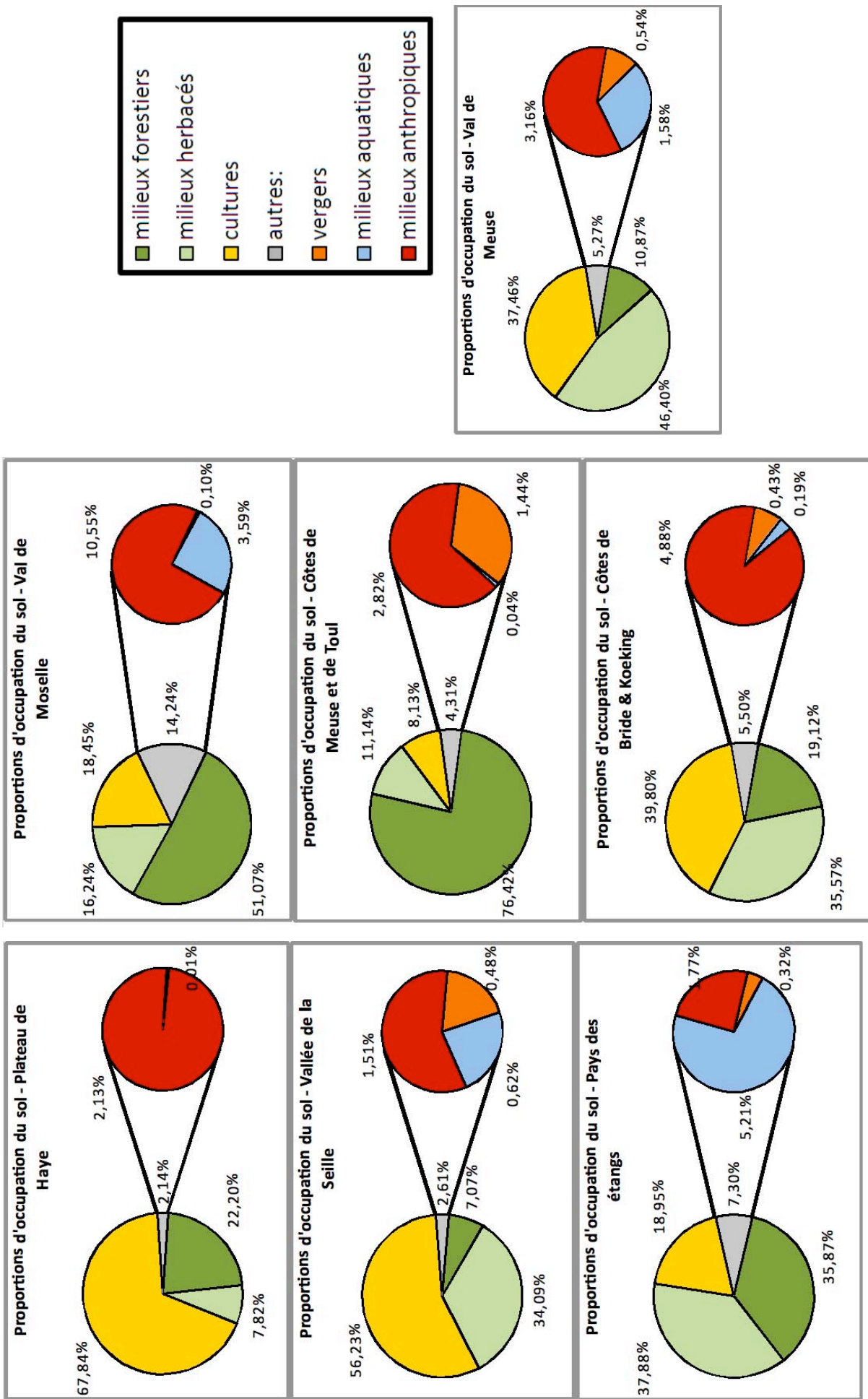


Figure 7: Composition des unités paysagères, à la date 1

Résultats

A. Composition et structure des unités paysagères à la date 1

Le P.N.R.L nous a proposé, pour notre étude, 8 unités paysagères aux caractéristiques géomorphologiques bien distinctes. Ce projet est l'occasion de caractériser de manière plus fine la composition et la structure des paysages de ces unités paysagères.

A.1 Analyses des indices par unité paysagère à la date 1

La cohérence des unités paysagères ne peut être étudiée que pour la date 1 (1999 et 2002) car les ortho-photographies de l'année 2007 pour la Meuse ne sont pas encore disponibles.

Pour comparer les unités paysagères, des comparaisons de moyennes ont été effectués, via des tests d'analyse de variances : ANOVA (conditions paramétriques) ou Kruskal-Wallis (conditions non-paramétriques). Au préalable, la normalité de la distribution des valeurs des variables a été étudiée via des tests de Shapiro-Wilk sur les résidus d'ANOVA. Enfin, des tests de Tukey (comparaisons multiples post-ANOVA) ou des comparaisons multiples post-Kruskal-Wallis ont été réalisés. Pour chacun des tests, une valeur critique de 5% a été utilisée.

a Composition - Proportions d'occupation du sol

Il existe des différences importantes entre les différentes unités paysagères :

- Le val de Meuse (VME) est caractérisé par une forte proportion de milieux herbacés (46%) et peu de milieux forestiers (11%).
- Les côtes de Meuse et de Toul (CMT) sont caractérisées par une forte prédominance des milieux forestiers (76 %) et par une présence de vergers non négligeable (1,44%).
- La plaine de la Woëvre (PWO) a un paysage relativement varié avec des milieux forestiers et des cultures ne prenant pas un ascendant significatif (39,8% et 38,3% contre 17% de milieux herbacés). Les milieux aquatiques ne sont pas négligeables (3,1%)
- Le plateau de Haye (PHA) est caractérisé par une forte proportion de culture (66,7%) et peu de milieux forestiers (7,8%).
- Le Val de Moselle (VMO) est caractérisé par une proportion de milieux anthropisés nettement supérieure à celle des autres unités paysagères (10,55%) et une proportion de milieux forestiers importants (51,1%).
- Les côtes de Bride et Koeking (CBK) présentent un paysage mixte d'un point de vue de l'occupation du sol.
- La vallée de la Seille (VSE) a un paysage principalement agro-prairial, avec peu de milieux forestiers (7,7%).
- Le pays des étangs (PET) est caractérisé par des milieux herbacés et forestiers (37,9% et 35,9%). Comme son nom l'indique, les milieux aquatiques y sont très présents (5,21%).

Fragmentation des éléments du paysage en fonction des unités paysagères

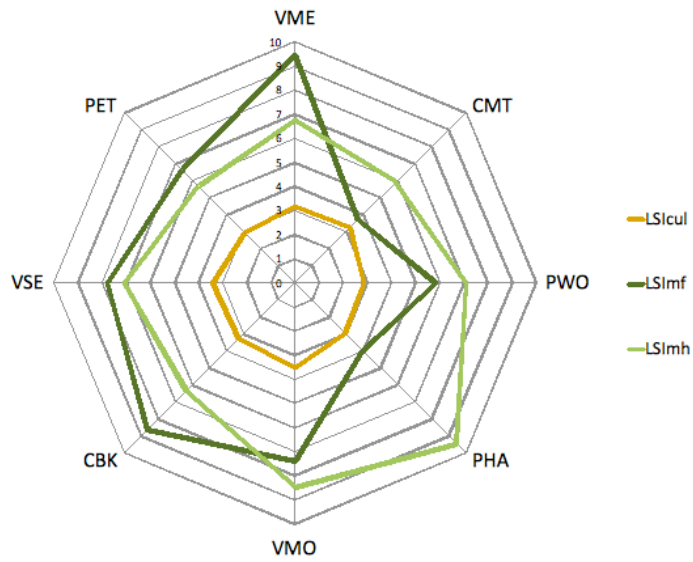


Figure 8 : Fragmentation des éléments du paysage en fonction des unités paysagères

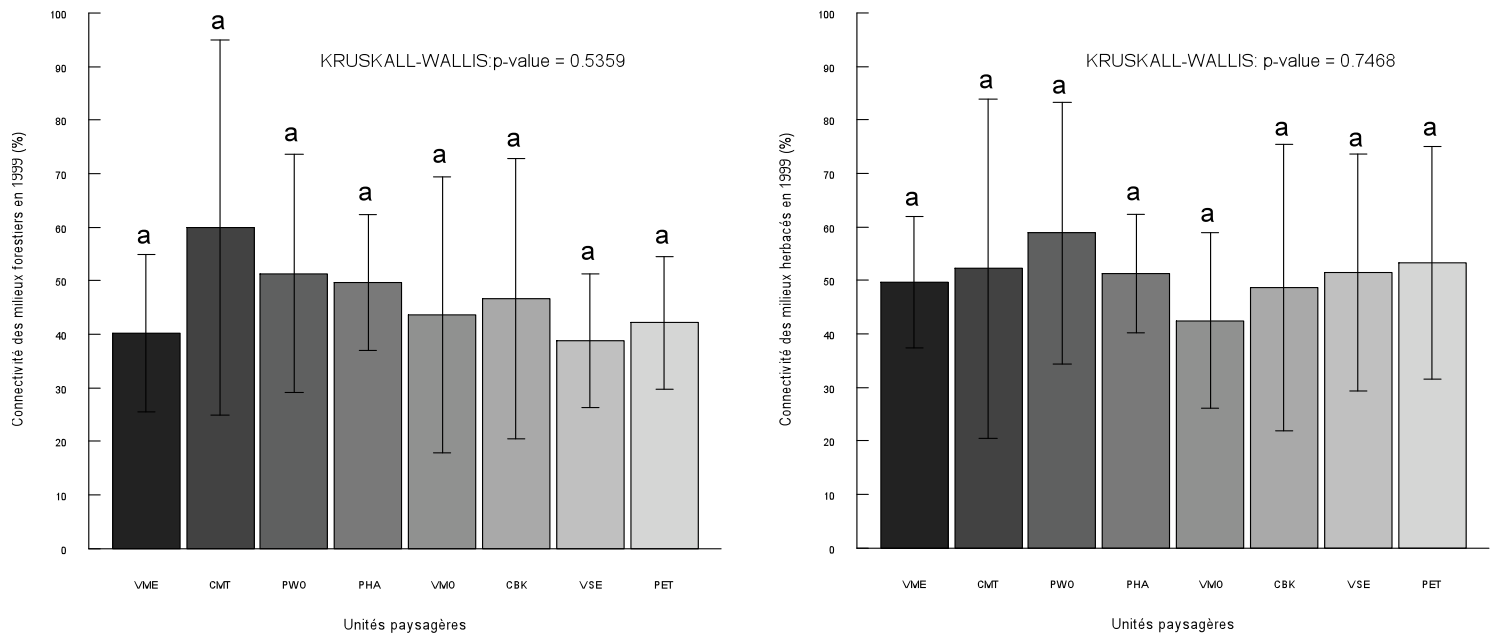


Figure 9 : Connectivité des éléments du paysage en fonction des unités paysagères (milieux forestiers et milieux herbacés)

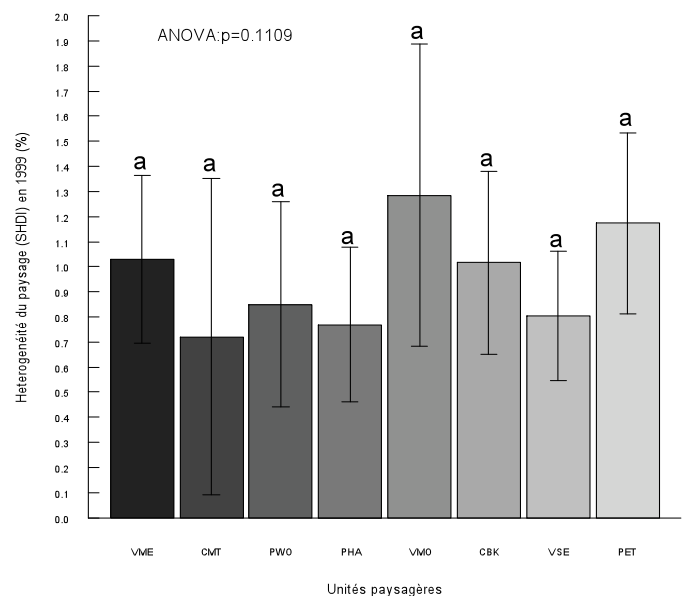


Figure 10: Hétérogénéité du paysage en fonction des unités paysagères

b. Fragmentation des milieux forestiers, des milieux herbacés et des cultures (cf figure 8 ci-contre)

- La fragmentation des milieux forestiers est très variable selon les unités paysagères, allant d'une valeur inférieure à 4 pour les côtes de Meuse et de Toul à plus de 9 pour le val de Meuse.
- La fragmentation des milieux herbacés varie d'une valeur inférieure à 6, jusqu'à une valeur supérieure à 9 pour le plateau de Haye.
- La fragmentation des cultures varie très peu en fonction des unités paysagères, avec une valeur comprise entre 3 et 4

On observe des différences significatives entre les unités paysagères uniquement pour la fragmentation des milieux forestiers (LSImf : Kruskal-Wallis, $p=0,0134$). Les valeurs des indices de fragmentation des milieux herbacés et des cultures ne sont pas respectivement statistiquement différents pour chacune des unités paysagères (Kruskal-Wallis, .05 avec comparaisons multiples).

c. Connectivité des milieux forestiers et des milieux herbacés (cf figure 9 ci-contre)

Les valeurs de connectivité, que ce soit pour les milieux forestiers ou les milieux herbacés, varient entre un peu moins de 40 et 60. D'un point de vue statistique, il n'y a pas de différences significatives entre les unités paysagères, que ce soit pour l'un ou l'autres des ensembles de milieux étudiés (Kruskal-Wallis : $p= 0,5359$ pour les milieux forestiers et $p=0,7468$ pour les milieux herbacés).

d. Hétérogénéité du paysage (cf figure 10 ci-contre)

Malgré des variations de SHDI entre 0,72 et 1,17 selon les unités paysagères, aucune différences significatives n'est observé entre les unités paysagères (ANOVA, $p= 0,1109$)

A.2 Comparaison de la composition et de la structure entre les zones NATURA 2000 et les zones « ordinaires »

Du point de vue de la composition, les zones NATURA 2000 sont composés de plus de milieux semi-naturels que les zones « ordinaires » (Anova $p=0.04685$), notamment de prairies (Anova $p=0.01345$). Il n'y a pas de différences majeures dans les indices de structure. D'un point de vue de la structure, il n'y a pas de différences significatives entre les zones NATURA 2000 et les zones « ordinaires »

A.3 Interprétation

Des tendances fortes sont mises en évidence entre les unités paysagères. Néanmoins, le peu de différences significatives ne permet pas de tirer des conclusions définitives quand à la caractérisation des unités paysagères par leur composition et leur structure. Les tendances mises en évidence permettent tout de même d'émettre des hypothèses fortes sur chaque unité paysagère :

Le val de Meuse (VME) semble être caractérisé par une prédominance de cultures et de prairies. Les milieux forestiers y sont particulièrement fragmentés, avec une proportion importante de haies. La connectivité des milieux forestiers s'en trouve tout de même faible vis à vis des autres unités paysagères. Les côtes de Meuse et de Toul (CMT) sont caractérisées à la fois par une composition à dominante forestière (76,42%) correspondant au plateau des côtes et une proportion de vergers importante, par rapport aux autres unités paysagères, sur les flancs de côtes (1,44%). La plaine de la Woëvre (PWO) est composée majoritairement de cultures et de milieux forestiers moyennement fragmentés. Le plateau de Haye (PHA) est majoritairement un territoire agricole (67,84%), ce qui induit une fragmentation des milieux herbacés importante. Le val de Moselle (VMO), en plein dans l'axe Nancy-Metz est le territoire le plus urbanisé (milieux urbains, jardins, voies de communications) du P.N.R.L (10,55%). Les cultures et

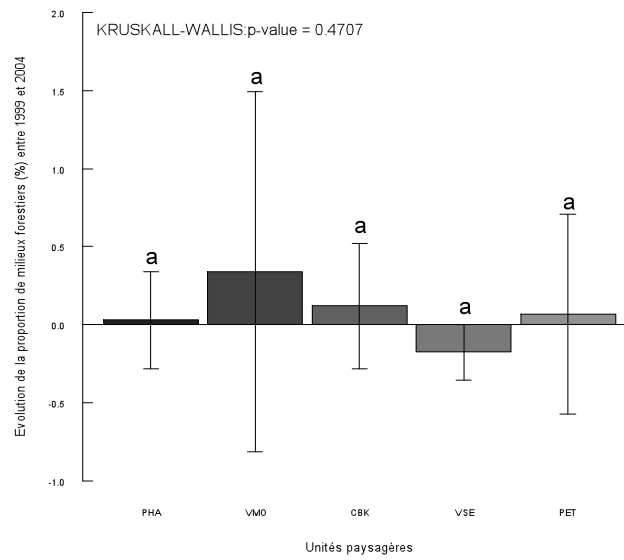
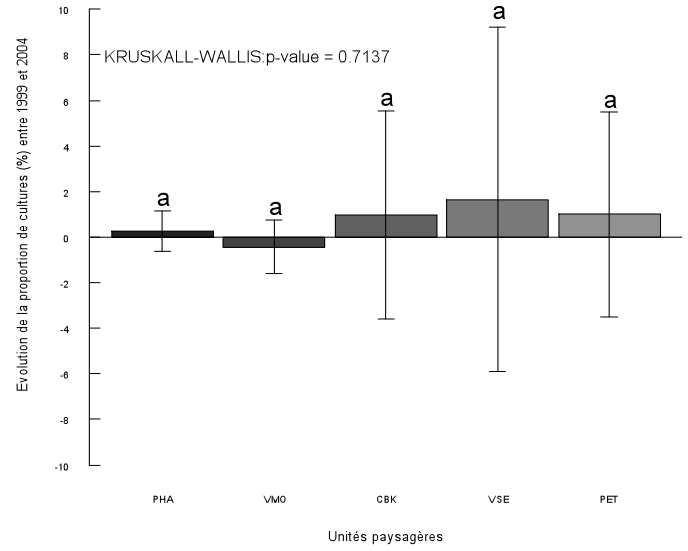
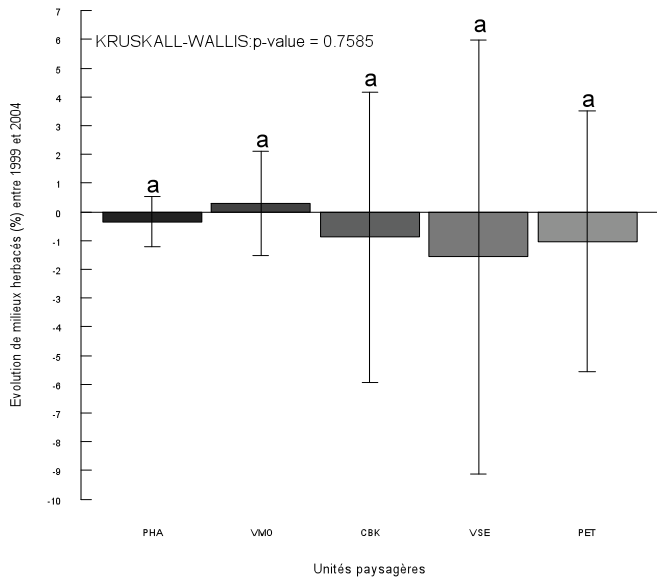


Figure 11: Evolutions de la proportion des milieux forestiers, des milieux herbacés et des cultures entre 1999 et 2004

les prairies y sont minoritaires par rapport aux massifs forestiers de haut de côte. C'est l'unité paysagère la plus hétérogène, au vu du découpage dû aux voies de communications, qui couvrent 2,6% de l'unité paysagère. Les côtes de Bride et Koeking (CBK), dans la partie est du P.N.R.L, ont des profils globalement similaires au val de Meuse (VME), dans la partie Ouest, avec une prédominance de cultures et de prairies. Tout comme dans le Val de Meuse, les milieux forestiers s'en trouvent fortement fragmentés. La vallée de la Seille (VSE) a, comme le plateau de Haye, une forte proportion de culture mais une proportion de milieux forestiers nettement moins importante, au bénéfice des prairies. Enfin, le pays de Etangs (PET) est caractérisé par, comme son nom l'indique, une présence non anecdotique de milieux aquatiques et un équilibre relatif entre cultures, prairies et milieux forestiers.

B. Evolution du paysage

Les évolutions de composition et de structure ont pu être mises en évidence uniquement pour les unités paysagères du plateau de Haye, du val de Moselle, de la forêt de Bride et Koeking, de la vallée de la Seille et du Pays des étangs. L'indisponibilité des ortho-photographies, à deux dates différentes, en Meuse, explique l'évincement du val de Meuse, des côtes de Meuse et de Toul et la plaine de Woëvre. Les évolutions de composition et de structure des unités paysagères sont, pour le moment étudiées avec un pas de temps de 5 ans, entre 1999 et 2004.

A l'échelle du territoire du P.N.R.L dans son ensemble, il n'y a pas d'évolution significative de composition. La surface totale des milieux forestiers ne varient pas significativement entre 1999 et 2004 (wilcoxon pour échantillons appariés : $p = 0.9959$), ni pour les milieux herbacés, les cultures ou les milieux urbanisés (respectivement Wilcoxon pour échantillons appariés : $p=0.909$, $p=0,9214$, $p=0,9917$).

Les variations absolues d'indices, pour chaque unité paysagère, c'est à dire la différence des indices entre la date 1 et la date 2 ($Date2 - Date1$), ont été analysés. Une valeur négative correspond donc à une perte de proportion d'occupation du sol, de fragmentation, de connectivité ou d'hétérogénéité. Pour la composition (proportion d'occupation du sol), une perte de 2% de prairies par exemple correspond à une perte de 20 000 m² (2 ha) (carrés d'études de 1km²) et non une perte de 2% de la surface initiale en prairie, à la date 1. Ceci conduit à des valeurs d'évolution faibles mais à une interprétation plus aisée en terme de gain ou de perte de surface. Pour les évolutions de fragmentation, de connectivité ou d'hétérogénéité, les différences absolues entre la date 1 et la date 2, sans évaluer un pourcentage de perte ou de gain de tel ou tel indice, ont été étudiés. En effet, une évolution de -1 du LSImf, par exemple, entre la date 1 avec LSImf = 4 et la date2 avec LSImf=5, ne correspond pas à une perte de 20% de la fragmentation. On parle, dans l'exemple fictif présenté d'une perte d'un point de fragmentation.

D'un point de vue statistique, pour répondre à la question: « Y-a-t-il une différence significative, pour une variable donnée (e.g. LSImf), pour une unité paysagère (e.g. VME), entre la date 1 et la date 2 ? », des tests de Wilcoxon sur échantillons appariés ont été effectués, avec une valeur critique de 5%. Ensuite, pour savoir si les évolutions sont identiques pour les diverses unités paysagères, la méthode d'analyse est la même que pour l'étude de la composition et de la structure des unités paysagères à la date 1, c'est à dire une méthode basée sur l'analyse de variance (ANOVA ou Kruskal-Wallis, avec des comparaisons multiples a posteriori) mais appliquée aux variations d'indices.

B.1 Evolution de la composition (cf figure 11)

Pour ce qui est des occupations du sol de la typologie simplifiée, on n'observe aucune évolution significative de proportion d'occupation du sol pour les milieux forestiers, les milieux herbacés ou les cultures. On observe néanmoins des tendances comme l'augmentation des cultures dans la zone Est du P.N.R.L (CBK, VSE et PET) au détriment des prairies, ou encore une augmentation des milieux forestiers en val de Moselle, dû à l'enfrichement sur les hauteurs des flancs de côtes.

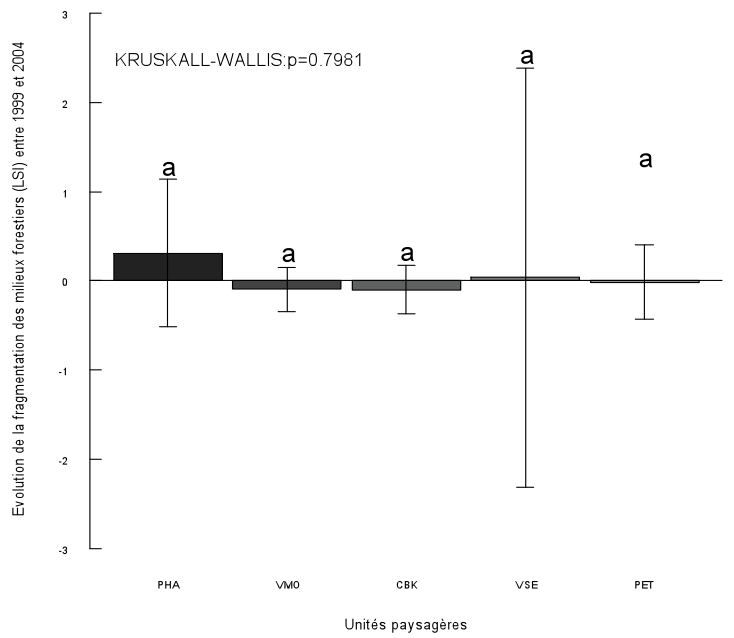
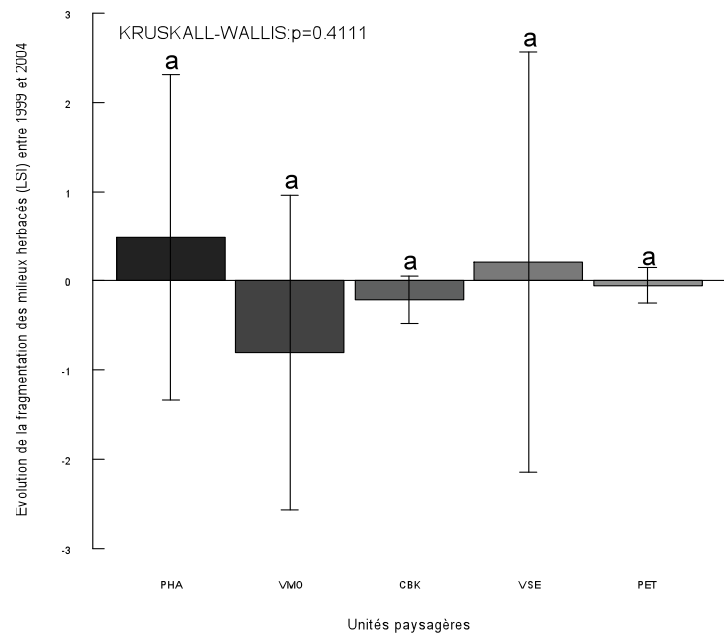


Figure 12: Evolution de la fragmentation des milieux herbacés et des milieux forestiers entre 1999 et 2004

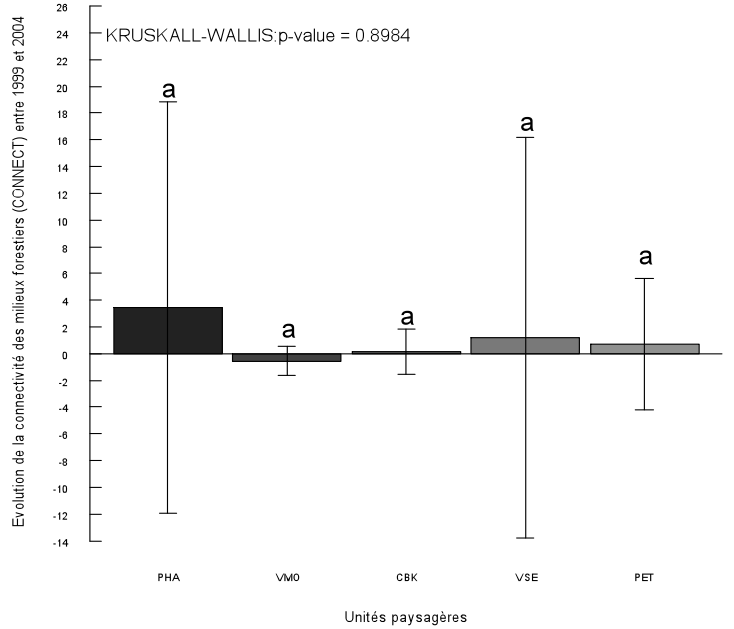
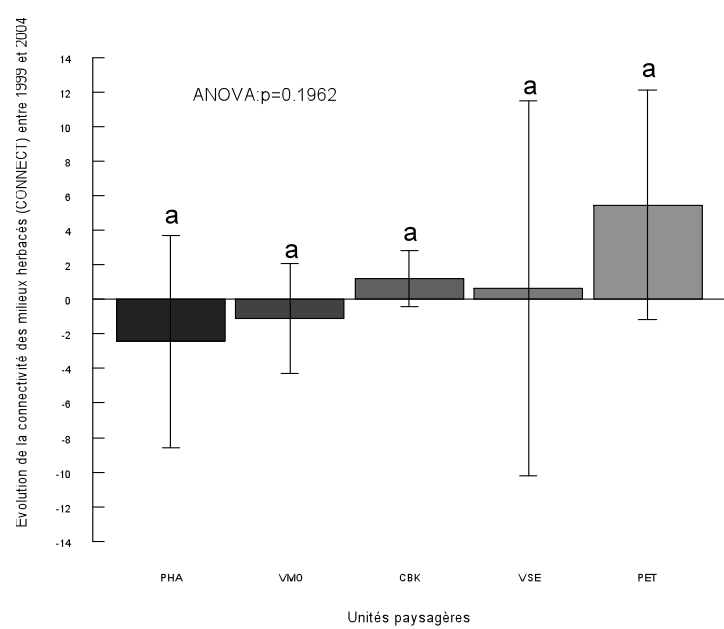


Figure 13: Evolution de la connectivité des milieux herbacés et des milieux forestiers entre 1999 et 2004

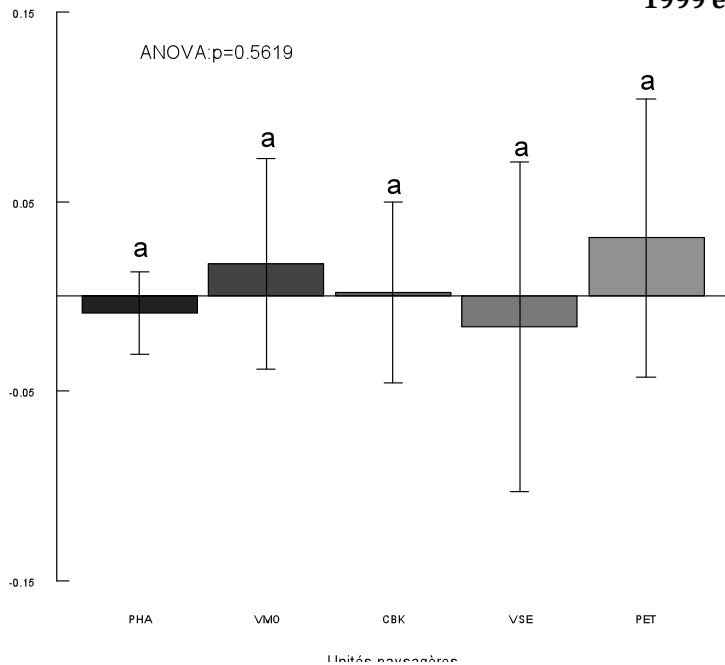


Figure 14: Evolution de l'Hétérogénéité du paysage entre 1999 et 2004

Pour ce qui est des éléments minoritaires du paysage, on observe une diminution importante d'arbres isolés dans les 5 unités paysagères étudiées. La proportion de haies augmente faiblement dans 4 des 5 unités paysagères.

B.2. Evolution de la fragmentation des milieux forestiers, herbacés et des cultures (cf figure 12)

Aucune évolution de la fragmentation des milieux forestiers, des milieux herbacés ou des cultures n'est significative. Les modifications de la structure des unités paysagères ne semblent pas assez marquées pour influencer sur les valeurs des indices de fragmentation.

B.3 Evolution de la connectivité des milieux forestiers, herbacés et des cultures (cf figure 13)

Tout comme la fragmentation, aucune évolution des indices de connectivité n'est significative.

B.4 Evolution de l'Hétérogénéité du paysage (cf figure 14)

L'Hétérogénéité du paysage, reposant à la fois sur la composition des unités paysagères et le nombre de type d'occupation du sol, ne varie pas de manière significative, dans chacune des unités paysagères. Ceci peut s'expliquer par les faibles modifications d'occupation du sol observé.

Discussion

A. Échantillonnage, Typologie et photo-interprétation

A.1 Échantillonnage

Dans une étude paysagère, on peut soit prendre le territoire considéré dans son ensemble, ce qui représente un investissement temporel et financier important ; ou bien échantillonner au sein de ce territoire. Dans le cas de notre étude, un échantillonnage stratifié au sein d'unités paysagères prédéfinies a été effectué. Hors, ces unités paysagères ne sont pas de même superficie, la densité de territoire pris en compte par l'échantillonnage varie donc considérablement entre les unités paysagères. La Vallée de la Seille (VSE), par exemple, est théoriquement mieux représentée que l'unité de la plaine de Woëvre (PWO), au vu de sa plus faible superficie. Un effort d'échantillonnage constant entre les unités paysagères a donc été, dans le cadre de notre étude, privilégié plutôt qu'un effort proportionnel à la surface (qui aurait fortement augmenté la taille de l'échantillon).

D'un point de vue du P.N.R.L dans son ensemble, 2,8% du territoire a été échantillonné. Cet ordre de grandeur est similaire à diverses études ou observatoires du paysage (c.f Matériel et Méthodes, B.1), ce qui va dans le sens d'une validation de notre effort d'échantillonnage. Mais dans le cadre de notre étude, malgré une couverture du territoire correcte, les tendances observées se s'avèrent pas être statistiquement significatives. Dans notre cas, c'est la diversité des paysages rencontrés au sein même des unités paysagères, qui est à l'origine d'écart-types importants dans les valeurs d'indices. Si les unités paysagères étaient plus homogènes, les écart-types s'en trouveraient réduits et les tendances observées auraient plus de probabilité d'être statistiquement significatives.

A.2 Typologie et photo-interprétation

La précision de la typologie lors de la numérisation de l'occupation du sol dépend fortement de ce que l'on souhaite observer. Le P.N.R.L a initié deux études paysagères en parallèle : une d'un point de vue géographique et l'autre d'un point de vue agro-écologique. Pour éviter toute redondance avec l'étude des géographes, prenant en compte des facteurs patrimoniaux, sociaux et économiques, l'élaboration de la typologie est fortement liée à des processus écologiques. Le regroupement proposé de la typologie détaillée à la typologie simplifiée s'explique par la volonté de calculer des indices de fragmentation et de connectivité cohérents d'un point de vue écologique. Par exemple, la connectivité des haies seules apporte certes des informations sur la qualité du réseau de haies, mais l'analyse de la connectivité de l'ensemble des éléments semi-naturels de la strate arborée est essentielle pour évaluer la qualité du continuum écologique forestier dans son entièreté. Le nombre final de classe est de 13 pour la typologie détaillée, et de 6 pour la typologie simplifiée, ce qui correspond globalement au nombre de classes utilisé dans des typologies issues de la bibliographie scientifique (7 classes pour Weibull & al, 2003 par exemple). Dans le cadre de l'étude menée par Persson & al, 2010, avec la même échelle de numérisation que dans le cadre de notre étude (1km²), la numérisation des éléments semi-naturels de petite échelle comme les murs de pierre, les fossés et une distinction entre les modes de gestion des prairies ont pu être réalisés de manière fiable grâce à une phase de vérification sur le terrain. Ces éléments de petite taille ont été ensuite inclus dans une classe d'occupation du sol plus générale comportant les milieux semi-naturels, analogue aux regroupements effectués pour les calculs des indices de fragmentation et de connectivité de notre étude.

Malheureusement, l'utilisation d'ortho-photographies et l'impossibilité, au vu du temps à consacrer à la numérisation et à la taille du territoire considéré, ne permettent pas de vérifier sur le terrain les diverses incertitudes d'interprétation auxquelles on a pu être confronté (d'autant que les photos

utilisées datent d'il y a plus de 10 ans). La typologie se devait donc d'être suffisamment simple pour palier d'éventuelles différences de numérisation, pouvant apporter un biais non négligeable aux valeurs des différents indices. Les types retenus, même pour la typologie simplifiée, ne pouvaient donc pas intégrer des données agronomiques comme les types de cultures, les types de gestion prairial, les espèces fruitières au sein des vergers... Les Atlas Communaux, véritables recensements, sous S.I.G, des milieux présents au sein des communes du P.N.R.L, nous ont été fournis. Il fut envisagé d'utiliser ces données pour caractériser de manière plus fine les habitats présents au sein des zones d'études échantillonnées. Néanmoins, la couverture spatiale de ces atlas n'est pas complète et s'étale sur une durée de 16 ans suivant les communes (de 1994 à 2010). C'est cet asynchronisme avec les dates prises en compte, dans notre étude et les dates de l'atlas, qui empêche toute utilisation de ces derniers. De rares vérifications, au vu de la finesse de la caractérisation des milieux des atlas, ont pu être effectuées lorsque les dates correspondaient.

B. Indices

Le choix des indices, notamment pour ce qui est de la structure du paysage, ne fût pas limité par le nombre d'indices proposés par le logiciel Fragstats®. Dans le but de ne pas complexifier un protocole de recueil de données déjà imposant, le recours à d'autres logiciels pour calculer les indices a été volontairement écarté, au vu de la multitude d'indices proposés par Fragstats®, de leurs origines (indices venant de la littérature scientifique) et de leur fréquente utilisation. Certaines remarques peuvent être énoncées vis à vis des indices de fragmentation et de connectivité finalement choisis dans l'étude:

- LSI (indice de forme du paysage) rend compte de la complexité de forme mais pas de la disposition des éléments du paysage, du degré d'agrégation de ces derniers. Par ailleurs, il est indispensable de coupler cet indice aux valeurs d'occupation du sol pour avoir une réelle idée de l'état de fragmentation du milieu considéré. En effet, une même valeur de LSI ne se traduit pas forcément par une similarité de la structure du paysage. Par exemple, des milieux forestiers avec un LSI égal à 4 et une proportion d'occupation du sol de 70%, par exemple, représentent des blocs forestiers importants, alors que des milieux forestiers avec un LSI égal à 4 et une proportion d'occupation du sol beaucoup plus faible (10%) représenteraient des bosquets de faible surface, bien qu'ayant un indice de fragmentation identique. Par ailleurs, la présence de haies et de bandes enherbées aurait une tendance à respectivement fortement augmenter le LSI des milieux forestiers et des milieux herbacés.

- CONNECT300 rend compte de la présence ou de l'absence d'éléments du même type dans un rayon de 300m. Cet indice peut être trompeur si on en fait une interprétation trop hâtive. Par exemple, si un paysage était composé, dans une matrice agricole, de 2 bosquets de faibles surfaces connectés, c'est à dire à moins de 300 m l'un de l'autre, la connectivité calculée sera maximale (100). Il convient donc, de coupler, pour une analyse plus cohérente, les valeurs de connectivité avec les proportions d'occupations du sol considéré. De plus, dans le cadre de notre étude, on ne s'intéresse qu'à la connectivité structurelle du paysage. La notion de connectivité prend un tout autre sens quand on s'intéresse aux habitats d'espèces ou groupes d'espèces (guildes) particulières. On parle alors de connectivité fonctionnelle. Dans le cadre de l'élaboration de la trame verte, la méthodologie, du bureau d'étude suisse ECONAT est fréquemment employée pour évaluer la qualité de continuums d'habitat comportant des groupes (guildes) définis. Chaque milieu ayant un coefficient de résistance pour les déplacements de la guildes, évalué par expertise selon les traits de vie des espèces (Berthoud G & al, 2004).

C. Cohérences des unités paysagères prédéfinies par le P.N.R.L

Les résultats obtenus, pour chaque unité paysagère en 1999, permettent de caractériser les différentes unités paysagères. Un regard d'expertise, disponible durant les diverses réunions et comités techniques, n'a pas contredit les tendances observées. La forte proportion de vergers dans les côtes de Meuse et de Toul, ou encore la forte proportion de cultures sur le plateau de Haye, sont connues des experts du paysage du P.N.R.L. La description quantitative de notre étude rejoint donc la perception des experts.

D. Evolution de la composition et de la structure du paysage

Les évolutions des indices entre 1999 et 2004, pour les 5 unités paysagères étudiées, ne sont pas significatives. Ceci peut être interprété par un pas de temps de 5 ans qui semble insuffisant pour mettre en évidence des changements de composition et de structure du paysage, notamment dans un territoire à caractère patrimonial et donc sujet à un regard de gestionnaires plus important. Dans le cadre du projet dans son ensemble, la numérisation des occupations du sol à une troisième date (2009 ou 2012 selon des départements) est prévue. La numérisation sera poursuivie tous les 5 ans, au rythme des campagnes de photographies aériennes de l'I.G.N. On peut alors émettre l'hypothèse que les évolutions, sur un pas de temps de 10 ans (et plus) soient plus marquées et auront par conséquent plus de probabilité d'être significatives.

Du point de vue de certaines problématiques importantes pour le P.N.R.L : Le peu d'évolution des proportions de haies, encourageante d'un point de vue écologique et patrimoniale, peut s'expliquer à la fois par un suivi des exploitants par le P.N.R.L, par une prise en compte de plus importante de ces dernières dans la lutte biologique via les auxiliaires de cultures ou encore dans la lutte contre l'érosion et la dispersion des intrants et des produits phytosanitaires, et par une politique de replantation menée par le P.N.R.L.

Des hypothèses sur les évolutions futures, influencées par des changements de politiques de gestion, peuvent être formulés : Au vu des modifications de politiques d'aides aux exploitants agricoles, d'autres hypothèses peuvent être formulés, comme par exemple, l'augmentation des espaces herbacés hors prairies, consécutifs à la mise en place de bandes enherbées, grand chantier des réformes de la Politique Agricole Commune (P.A.C), en 2003, qui apporte un appui législatif non négligeable au maintien d'une diversité de la flore et de la faune associée (lépidoptères, apiformes...) dans les territoires à dominante agricole. La perte de prairies, au profit des cultures, risque de se maintenir, du moins jusqu'en 2010. Cette hypothèse est confortée par la mise en évidence, au niveau national, de la perte de 0,8% de surfaces toujours enherbées, entre 2006 et 2009 (M.A.A.P – Agreste, 2010). Cette perte de prairies au profit des cultures, risque de se maintenir, du moins jusqu'en 2010, date prévue de la mise en place de la Bonne Conduite Agro-Environnementale (B.C.A.E) « Gestion des surfaces en herbe » de la P.A.C, qui intègre le maintien global de la surface en herbe de l'exploitation (Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche (M.A.A.P), 2010).

E. Comparaison des données linéaires et des données surfaciques de haies

Dans le cadre du projet, une étude parallèle sur les linéaires de haies et les linéaires de bandes enherbées a été effectuée, sur les mêmes carrés d'études et les mêmes dates que l'analyse du paysage dans son ensemble (Rapport de stage Master 1, Pauline Villain). Il paraît donc judicieux de comparer les indices linéaires de haies (en m/km²) avec les indices surfaciques de haies (en pourcentage d'occupation du sol des carrés d'études de 1km²). Entre les unités paysagères, à la date 1, les indices linéaires et les indices surfaciques donnent des variations à l'allure nettement similaire. Un test de corrélation de Pearson (significativité à .05), appliqué entre les données d'indices linéaires et les pourcentages d'occupation de haies, confirme la corrélation entre l'indice linéaire et la proportion d'occupation du sol de haies. Une si forte corrélation (R-squared = 0,77) permet aisément de considérer l'indice linéaire comme bon indicateur de la surface de haies. Néanmoins, il convient de rappeler que l'impact des haies sur l'environnement environnant est déterminé par d'autres critères, non étudiés dans cette étude, comme leurs largeurs, leurs structures, ou encore leurs compositions spécifiques (qui peuvent être indicatrices de la qualité des haies).

F. Perspectives du projet

F.1 Ce projet en base d'un observatoire du paysage du P.N.R.L sur le plus long terme

Ce projet, créé à la base pour étayer les réflexions émises pour la révision de la charte du P.N.R.L, a été conçu, d'un point de vue technique, pour être facilement reproductible sur le long terme. L'intérêt de poursuivre ce type d'études dans un laps de temps plus long serait, à la fois de (1) mettre en évidence des modifications de composition ou de structure du paysage lentes, et donc difficilement perceptibles sur le court terme et (2) évaluer les actions menées, en lien avec le paysage, par le P.N.R.L, sur le long terme. Du point de vue du protocole, les phases de mise en place du protocole et de numérisation de la date 1, c'est à dire les phases imposant un travail de fond important, étant terminé et ayant aboutit à la rédaction d'un cahier technique, ce projet offre une assise non négligeable pour évaluer les changements de composition et de structure du paysage sur le plus long terme. Le cahier technique fait référence aux protocoles de numérisation, d'extraction et d'analyse des données, de manière à assurer la reproductibilité du protocole.

Cet observatoire du paysage dans le Parc Naturel Régional de Lorraine prendra tout son sens dans une perspective de suivi à long terme, à l'image de l'observatoire du paysage du Royaume-Uni (Countryside Survey), qui fait suite à de nombreuses études préalables et s'intègre dans la durée, avec pour vocation, d'analyser les changements de composition du paysage tout les dix ans (depuis 1974) (Sheail & al, 2003).

F.2 Une base de données importante pour des études à vocation agro-écologique

La base de données découlant de ce projet, c'est à dire à la fois les couches vectorielles issues de la numérisation des carrés d'étude et les indices correspondants, est importante. Il paraîtrait judicieux, que ce soit pour déterminer les objectifs de conservation de certaines espèces ou pour des études plus générales sur l'écologie du paysage, de coupler ces résultats avec des données écologiques relatives aux communautés et populations d'espèces présentes dans le territoire du P.N.R.L. C'est dans cette optique que j'ai mené une étude bibliographique afin de recenser les liens entre la composition et la structure du paysage d'une part et la biodiversité d'un point de vue général ou d'un point de vue taxonomique d'autre part.

Le paramètre du paysage impactant fréquemment la biodiversité globale est l'hétérogénéité du paysage (de Bello & al 2010). La proportion d'éléments semi-naturels semble également déterminante pour la biodiversité. L'importance de cet indice se retrouve pour de nombreux groupes taxonomiques.

Du point de vue de la diversité floristique : La proportion d'éléments semi-naturels (milieux forestiers et surfaces enherbées) dans le paysage est un facteur déterminant pour la diversité floristique (Billeter & al, 2008 ; Dormann & al, 2007). D'autres facteurs comme la dispersion des terres arables ou l'hétérogénéité du paysage ont une influence significative sur la richesse spécifique de la flore (Weibull & al, 2003). En plus de ces paramètres purement paysagers, d'autres indices, liés à l'activité agricole, comme le taux de fertilisation ou d'apport de pesticides, ont été démontrés (Billeter & al, 2008 ; Dormann & al, 2007).

Du point de vue de la diversité faunistique, les caractéristiques paysagères impactant la diversité spécifique sont nombreuses et peuvent fortement varier selon des taxons, voire les espèces étudiées. Ceci accentue la nécessité de connaître les habitats et les traits de vie des espèces étudiées, pour éventuellement interpréter les liens entre le paysage et les communautés considérées. Dans un esprit de synthèse, les différents indices que j'ai rencontrés dans la littérature vous sont proposés sous forme d'un tableau (cf. Table 7). On remarque la redondance et la prépondérance de certains indicateurs comme l'hétérogénéité du paysage, la proportion d'éléments semi-naturels et la fragmentation du paysage. Il a été montré que dans des paysages à forte composante agricole, 63 % des espèces animales dépendaient fortement de la présence de ces éléments semi-naturels (Duelli & al, 2003).

Table 7: Indices paysagers et biodiversité

Groupe Taxonomique	Indices spatiaux de biodiversité	Références bibliographiques
Lépidoptères	Hétérogénéité du paysage	Atauri & al, 2001 Weibull & al, 2003
	Fragmentation du paysage	Atauri & al, 2001 Tschantke & al, 2003
	Distance entre prèes et marge enherbées	Delattre & al, 2010
	Proportion de culture	Moilank & al, 1998
	Isolement des habitats	Thomas & al, 2001
Amphibiens	Proportion de forêt	Houlahan & al, 2003 Ficetola & al, 2004
	Proportion de milieux humides	Houlahan & al, 2003
	Hétérogénéité du paysage	Atauri & al, 2001
	Fragmentation du paysage	Atauri & al, 2001
Avifaune	Proportion d'éléments semi-naturels	Billeter & al, 2008 Atauri & al, 2001
	Hétérogénéité du paysage	Wretenberg & al, 2010 Caushman & al, 2003
	Fragmentation du paysage	Atauri & al, 2001 McGarical & al, 2005 Caushman & al, 2003
	Proportion de forêt	Wretenberg & al, 2010
	Proportion d'éléments semi-naturels	Billeter & al, 2008 Duelli & al, 2003
Arthropodes	Diversité des cultures	Hendrickx & al, 2007
	Proximité des habitats	Billeter & al, 2008 Hendrickx & al, 2007
Carabes	Proportion de culture	Jeanneret & al, 2003
	Proximité des forêts	Dormann & al, 2007
	Diversité des cultures	Weibull & al, 2003
	Hétérogénéité du paysage	Weibull & al, 2003
Araignées	Proportion de forêts	Jeanneret & al, 2003

Après ce bref état des lieux des connaissances entre paysage et biodiversité, l'apport éventuel de la base de données, que ce soit par la diversité des paysages étudiés et par le suivi temporel de ces paysages, semble intéressant. C'est donc un véritable projet de monitoring de biodiversité qui peut être envisagé par le P.N.R.L, intégrant à la fois des suivis d'espèces cibles souvent utilisées comme indicateurs environnementaux comme la flore herbacée, les lépidoptères ou l'avifaune, et un suivi du paysage. On pourrait même envisager d'intégrer des données sur les pratiques agricoles, en recoupant des bases de données de différentes natures, pour affiner les recherches et éventuellement en dégager des indicateurs généraux de biodiversité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Atauri & al, 2001 **The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes** *Landscape Ecology* 16(2001) 147–159
- Berthoud G, Lebreau RP, Righetti A, 2004 **Réseau écologique national REN. Rapport final** p34 Cahier de l'environnement n° 373 Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (Suisse)
- Billeter & al, 2008 **Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study** *Journal of Applied Ecology* 45(2008) 141–150
- Burel & Braudy, 2003 **Ecologie du Paysage Concepts, méthodes et applications** ed. TEC & DOC
- C.E.T.E de l'Est **SCOT du val de Rosselle Diagnostic et analyse des réseaux écologiques** (Mai 2009)
- Caushman & al, 2003 **Landscape-level patterns of avian diversity in the Oregon coast range** *Ecological Monographs*, 73(2003) 259 –281
- de Bello & al, 2010 **A biodiversity monitoring framework for practical conservation of grasslands and shrublands** *Biological Conservation* 143(2010) 9–17
- Delatte & al, 2010 **Grassy field margins as potential corridors for butterflies in agricultural landscapes: A simulation study** *Ecological Modelling* 221(2010) 370–377
- Dick M Wascher & al, 1999 **Establishing targets to assess agricultural impacts on European landscapes**. Environmental Indicators and Agricultural Policy, CAB International, Wallingford, UK (1999), 73–88 268(2001) 1791-1796
- Dormann & al, 2007 **Effects of landscape structure and land-use intensity on similarity of plant and animal communities** *Global Ecology and Biogeography* 16(2007) 774–787
- Duelli & al, 2003 **Regional biodiversity in an agricultural landscape: the contribution of seminatural habitat islands** *Basic and Applied Ecology* 4(2003) 129–138
- Fahrig, 2003 **Effect of habitat fragmentation on biodiversity** *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34(2003) 487–515
- Ficetola & al, 2004 **Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure is related to habitat features and isolation** *Biological Conservation* 119(2004) 219–230
- He & al, 2000 **An aggregation index to quantify spatial patterns of Landscapes** *Landscape Ecology* 15(2000) 591-601
- Hendrickx & al, 2007 **How landscape structure, land use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscape** *Journal of Applied Ecology* 44(2007) 340-251
- Houlahan & al, 2003 **The effects of adjacent land use on wetland amphibian species richness and community composition** *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(2003) 1078-1094

- Jeanneret & al, 2003 **Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes** Agriculture, Ecosystems and Environment 98(2003) 311–320
- Kindlamm & Burel, 2008 **Conservation of butterfly populations in dynamic landscapes: The role of farming practices and landscape mosaic** Ecology Modeling 205(2007) 135-145
- McGarigal & al, 1992 **Streamside versus upslope breeding bird communities in the central Oregon Coast Range** Journal of Wildlife Management 56(1992), 10-23
- McGarigal & al, 2009 **Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure** Landscape Ecology 24(2009)433–450
- McGarigal & Marks, 1994 **FRAGSTATS, Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**
- Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la pêche - Agreste, 2010 **L'utilisation des terres en 2006 et 2009** Agreste Primeur n°246 (http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_primeur246-2.pdf)
- Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la pêche, 2010 **Dossier : Mise en œuvre du Bilan de santé de la PAC** (<http://agriculture.gouv.fr/les-regles-de-la-conditionnalite,522>)
- Persson & al, 2010 **Land use intensity and landscape complexity – Analysis of landscape characteristics in an agricultural région in Southern Sweden** Agriculture Ecosystem and Environment 136(2010), 169-176
- Sheail & al, 2003 **The development and scientific principles of an environmental classification for strategic ecological survey in the United Kingdom** Environmental Conservation 30(2): 147–159
- Thomas & al, 2001 **The quality and isolation of habitat patches both determine where butterflies persist in fragmented landscapes** Proceeding of the Royal Society Biology
- Tschantke & al, 2003 **Contribution of Small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes** Ecological Applications 12(2002) 354 –363
- Turner, M.G. 1989 **Landscape ecology: the effect of pattern on process** Annual Review of Ecology and Systematics 20:171-197.
- Villain Pauline, 2010 **Etude paysagère du Parc Naturel Régional de Lorraine : Analyse spatio-temporelle des linéaires semi-naturels dans les paysages** Université Henri Poincaré de Nancy
- Weibull & al, 2003 **Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management** Biodiversity and Conservation 12(2003) 1335–1355
- Wilcove & al, 1986 **Habitat fragmentation in the temperate zone** Conservation Biology ed. ME Soulé 237-56
- Wretenberg & al, 2010 **Changes in local species richness of farmland birds in relation to land-use changes and landscape structure** Biological Conservation 143(2010) 375–381

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

<i>Figure 1: Localisation du P.N.R.L et ses unités paysagères</i>	1
<i>Figure 2: Représentation de l'échantillonnage</i>	2
<i>Figure 3: Séquence de numérisation de l'occupation du sol d'un carré d'étude</i>	4
<i>Figure 4: Fragmentation du paysage (Burel & Baudry, 2003)</i>	8
<i>Figure 5: Connectivité du paysage (Burel & Baudry, 2003)</i>	9
<i>Figure 6: Hétérogénéité du paysage (Burel & Baudry, 2003)</i>	11
<i>Figure 7: Composition des unités paysagères, à la date 1</i>	12
<i>Figure 8: Fragmentation des éléments du paysage en fonction des unités paysagères</i>	13
<i>Figure 9: Connectivité des éléments du paysage en fonction des unités paysagères (milieux forestiers - milieux herbacés)</i>	13
<i>Figure 10: Hétérogénéité du paysage en fonction des unités paysagères</i>	13
<i>Figure 11: Evolutions de la proportion des milieux forestiers, des milieux herbacés et des cultures, entre 1999 et 2004</i>	14
<i>Figure 12: Evolution de la fragmentation des milieux herbacés et des milieux forestiers entre 1999 et 2004</i>	15
<i>Figure 13: Evolution de la connectivité des milieux herbacés et des milieux forestiers entre 199 et 2004</i>	15
<i>Figure 14: Evolution de l'hétérogénéité du paysage entre 1999 et 2004</i>	15

TABLES

<i>Table 1: Disponibilité des ortho-photographies (en rouge)</i>	3
<i>Table 2: Typologie simplifiée et détaillée</i>	4
<i>Table 3: Indices de fragmentation, avec n le nombre, P le périmètre, A l'aire, Pmin le périmètre minimal</i>	9
<i>Table 4: Matrice de corrélation (Pearson) des indices de Fragmentation, p-values</i>	10
<i>Table 5: Indice de connectivité avec jonc les jonctions, n le nombre et distmin la distance minimale</i>	11
<i>Table 6: Indice d'Hétérogénéité avec n le nombre et PLAND la proportion d'occupation du sol</i>	12
<i>Table 7: Indices paysagers et biodiversité</i>	21

