



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

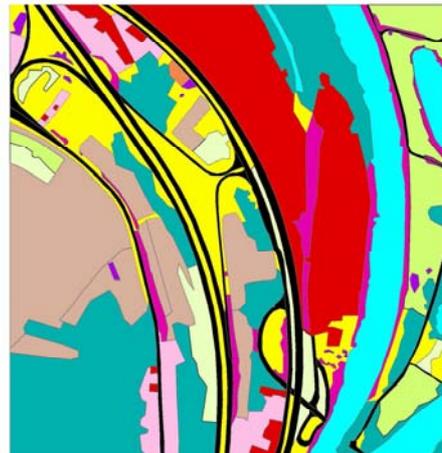
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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

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

Spécialité
Fonctionnement et Gestion des Écosystèmes

**CARACTERISATION SPATIO-TEMPORELLE DU PAYSAGE
À L'ÉCHELLE DU PARC NATUREL REGIONAL DE LORRAINE**



BÉATRICE GILET

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 07/09/2011

Maître de stage : Nadia Michel, Maître de Conférences

Structure d'accueil : Laboratoire Agronomie et Environnement

ENSAIA-INPL Nancy

REMERCIEMENTS

Ce projet a été une expérience enrichissante et pleine d'intérêt dans un cadre de travail agréable, en contact avec des personnes très sympathiques :

▪Je remercie tout particulièrement Nadia Michel, mon maître de stage, qui m'a encadrée tout en me laissant une grande autonomie. Ses qualités humaines et professionnelles m'ont permis de mener à bien cette étude avec enthousiasme.

▪Je remercie Anne Philipczik pour son accueil chaleureux au sein du Parc naturel régional de Lorraine, son expertise et ses explications au sujet des paysages du Parc.

▪Je remercie Bernard Amiaud et Sylvain Plantureux pour leur aide précieuse concernant la reconnaissance de la flore prairiale.

▪Je remercie Béatrice Noirtin pour son aide ponctuelle mais indispensable lorsque des difficultés techniques liées aux SIG se sont présentées.

▪Je remercie Aline Chanseaume qui m'a accompagnée sur le terrain avec enthousiasme et Simon Taugourdeau pour ses explications concernant le logiciel R.

▪Je remercie Caroline Kohler et Nicolas Gripon mes collègues de bureau pour leur sympathique compagnie durant ces quelques mois.

▪Enfin je remercie l'ensemble du personnel du Laboratoire Agronomie et Environnement pour les différents moments agréablement partagés.

LISTE DES ACRONYMES

BCAE : Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales
CBK : Côte de Bride et Koeking
CLC : Corine Land Cover
CMT : Côtes de Meuse et de Toul
CERPA : Centre d'Etude et de Recherche sur le Paysage
CONNECT : Connectance index
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ENN_MN : Euclidean Nearest Neighbor Distance_mean
ENSAIA : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires
GPS : Global Positioning System
IGN : Institut Géographique National
INPL : Institut National Polytechnique de Lorraine
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
LAE : Laboratoire Agronomie Environnement
LSI : Landscape Shape Index
MEDDTL : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
MESH : Effective Mesh Size
NTF : Nouvelle Triangulation Française
OP : OrthoPhotographie
PAC : Politique Agricole Commune
PET : Pays des Etangs
PHA : Plateau de Haye
PLU : Plan Locaux d'Urbanisation
PWO : Plaine de la Woëvre
PnrL : Parc naturel régional de Lorraine
PROX_MN: Proximity index_mean
RGF: Réseau Géodésique Français
SHDI : Shannon's Diversity Index
SIDI : Simpson's Diversity Index
SIEI : Simpson's Evenness Index
SIG : Systèmes d'Informations Géographiques
UMR : Unité Mixte de Recherches
UP : Unité Paysagère
VME : Vallée de la Meuse
VMO : Vallée de la Moselle
VSE : Vallée de la Seille
ZN : Zone Natura 2000
ZO : Zone Ordinaire

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

Figure 1 - Le territoire du Parc naturel régional de Lorraine.....	2
Figure 2 - Les huit unités paysagères du Parc naturel régional de Lorraine.....	2
Figure 3 - Spatialisation des carrés échantillons au sein du Parc naturel régional de Lorraine.....	3
Figure 4 - Vectorisation d'une orthophotographie.....	5
Figure 5 - Table attributaire associée à un vecteur.....	5
Figure 6 - Concept de connectivité spatiale.....	7
Figure 7 - Concept de fragmentation spatiale.....	7
Figure 8 - Concept d'hétérogénéité spatiale.....	8
Figure 9 - Proportions des occupations du sol sur le territoire du PnrL à la date 1 selon la typologie simplifiée.....	11
Figure 10 - Proportions des occupations du sol des huit unités paysagères du PnrL à la date 1 selon la typologie simplifiée.....	11
Figure 11 - Fragmentation selon MESH des milieux forestiers (A), herbacés (B) et des cultures (C) et fragmentation des milieux herbacés selon LSI (D), en fonction des unités paysagères	13
Figure 12 - Proportions des occupations du sol des zones Ordinaire et Natura 2000 à la date 1 selon la typologie simplifiée	14

TABLEAUX

Tableau 1 - Nombre de carrés au sein des unités paysagères, des zones Ordinaire et Natura 2000.....	3
Tableau 2 - Dates des campagnes photographiques IGN selon les départements étudiés.....	5
Tableau 3 - Typologies de l'occupation du sol.....	5
Tableau 4 - Tests statistiques mis en œuvre afin d'analyser les données.....	10
Tableau 5 - Proportions des occupations du sol sur le territoire du PnrL à la date 1 selon la typologie détaillée.....	11
Tableau 6 - Proportions des occupations du sol au sein des 8 unités paysagères à la date 1 selon la typologie détaillée.....	12
Tableau 7 - Composition des zones Ordinaire et Natura 2000 à la date 1 selon la typologie détaillée.....	14
Tableau 8 - Proportions des occupations du sol pour le PnrL (données issues du stage) et pour la Lorraine (données CLC 2000 révisées).....	16

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
MATERIEL ET METHODE	3
I) Acquisition des données	3
1) Présentation du site d'étude.....	3
2) Approche analytique.....	3
3) Stratégie d'échantillonnage.....	4
4) Vectorisation.....	5
a) Principe.....	5
b) Définition de la typologie de l'occupation du sol.....	6
c) Processus de vectorisation.....	6
II) Mesurer la composition et la structure du paysage	6
1) Définition des concepts.....	6
a) Composition et structure.....	6
b) Connectivité des classes.....	7
c) Fragmentation des classes.....	7
d) Hétérogénéité du paysage.....	8
2) Choix et calcul des indices.....	8
a) Fragstats ®.....	8
b) Indice de composition.....	9
c) Indices de connectivité.....	9
d) Indices de fragmentation.....	9
e) Indices d'hétérogénéité.....	10
3) Analyses statistiques.....	10
RESULTATS	11
I) Composition et structure du paysage : état des lieux à la date 1	11
1) Composition du paysage du Parc naturel régional de Lorraine.....	11
2) Unités paysagères.....	12
a) Composition.....	12
b) Structure.....	13
3) Composition des zones Ordinaire et Natura 2000.....	14
II) Evolution temporelle de la composition et de la structure du paysage	15
1) Composition.....	15
a) Territoire du Parc naturel régional de Lorraine.....	15
b) Unités paysagères.....	15
2) Structure.....	15
a) Territoire du Parc naturel régional de Lorraine.....	15
b) Unités paysagères.....	16
3) Comparaison des évolutions entre unités paysagères.....	16
INTERPRETATION / DISCUSSION	16
I) Les résultats	16
1) Caractérisation à la date 1.....	16
a) Paysage du Parc naturel régional de Lorraine.....	16
b) Cohérence des unités paysagères.....	17
c) Paysage des zones Ordinaire et Natura 2000.....	19
2) Suivi temporel.....	19
a) Evolution de la composition du paysage.....	19
b) Evolution de la structure du paysage.....	20
II) La méthode	21
1) Systèmes d'Informations Géographiques et Orthophotographies.....	21
2) Stratégie d'échantillonnage.....	21
3) Typologie.....	22
4) Indices.....	22
CONCLUSION / PERSPECTIVES	23
BIBLIOGRAPHIE	24

INTRODUCTION

Un paysage est une portion d'espace de taille variable¹ dont les caractéristiques résultent des interactions entre les activités anthropiques et les conditions naturelles. En Europe, depuis le milieu du XX^{ème} siècle, les activités humaines (agriculture, industrialisation, urbanisation...) se sont fortement intensifiées et sont responsables des transformations des paysages européens. Les conséquences de ces changements se caractérisent par l'altération de la qualité² et de la diversité des paysages, affectant les nombreux domaines dans lesquels ils jouent un rôle significatif. Constituant une ressource considérable à la fois pour les activités écologiques, sociales et économiques, le paysage est depuis quelques années reconnu comme un élément contribuant de manière importante à l'intérêt général (Convention européenne du paysage, Florence, 20.X.2000). Il a par exemple un impact sur la biodiversité des espèces qui est actuellement un enjeu mondial majeur.

Ainsi sa protection, sa gestion et son aménagement font l'objet d'une attention croissante, notamment avec le développement de cadres juridiques, réglementaires et la mise en œuvre de divers outils tels que les Plans de paysage, les Opérations « grands sites », les Atlas des paysages et les Observatoires du paysage. L'objectif étant de maintenir durablement le paysage, qu'il soit remarquable³ ou ordinaire⁴, dans un état favorable aux différentes activités qui lui sont associées (article L110-1 du code de l'environnement).

Pour y parvenir, certains organismes particulièrement impliqués dans la gestion et l'aménagement des territoires ont un rôle prépondérant à jouer en prenant davantage en compte la dimension paysagère. C'est le cas par exemple des Parcs Naturels Régionaux.

Les premiers ont été créés en 1967, afin d'assurer le développement économique des territoires ruraux à travers la valorisation de leurs richesses patrimoniales et de leurs savoir-faire. Ainsi, ils permettent d'établir des espaces de protection comprenant des zones habitées et sont complémentaires des Parc Nationaux.

Le territoire français compte à ce jour 46 Parcs Naturels Régionaux. L'étude présentée dans ce rapport a été initiée par l'un d'entre eux : le Parc naturel régional de Lorraine (PnrL). Existant depuis 1974, son objectif a évolué au fil du temps suivant le contexte et les nouvelles problématiques. Aujourd'hui le PnrL a pour vocation de « transmettre aux générations futures un patrimoine naturel et culturel préservé ». Dans ce but, ses missions sont multiples et s'articulent autour de quatre grands axes : environnement, culture et patrimoine, tourisme, éducation. Plus précisément en terme de paysage, le PnrL aide les communes à avoir une démarche territoriale cohérente afin de préserver leurs paysages. Il joue le rôle de conseiller lors de la conception des documents d'urbanisme, participe à divers projets d'équipement tels que l'implantation de lignes EDF ou l'installation du TGV Est et encourage les pratiques agricoles favorables à la qualité paysagère. Le PnrL est doté d'une charte révisable tous les dix ans (l'actuelle charte est adoptée pour la période 2003-2013), regroupant les objectifs à atteindre concernant l'ensemble des axes. Dans la perspective de la révision de cette charte pour 2013, le PnrL souhaite approfondir la connaissance qu'il a de son paysage en mettant en place un Observatoire du paysage.

Pour cela une analyse paysagère a été mise en place en 2010, en partenariat avec le Laboratoire Agronomie Environnement (LAE) pour une approche écologique et le Centre d'Etude et de Recherche sur le Paysage (CERPA, Université Nancy II) pour une approche géographique. Correspondant uniquement à la partie écologique, le stage présenté ici s'est déroulé au sein du LAE. Celui-ci est une Unité Mixte de Recherches (UMR) associant l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) ; plus particulièrement l'Ecole Nationale

¹ variable selon l'organisme qui le perçoit (limace, chevreuil), l'objectif de l'étude (paysage vandopérien, lorrain, européen).

² la qualité regroupe l'ensemble des « aspirations des populations en ce qui concerne les caractéristiques paysagères de leur cadre de vie » (Convention du Paysage), telles la typicité, l'esthétisme, la complexité, la naturalité.

Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA) ; et l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA). Le LAE est composé de deux équipes, l'équipe « Agriculture Durable » travaillant à l'échelle macroscopique avec par exemple l'étude de la biodiversité en milieu agricole et l'équipe « Métabolites secondaires » dont les travaux concernent l'échelle microscopique. L'analyse paysagère, s'appliquant à l'échelle du territoire du PnrL, s'intègre à l'équipe Agriculture Durable. L'un des objectifs de cette équipe est de mettre au point des méthodes permettant d'évaluer l'impact des techniques de production végétale sur le paysage. Elle dispose ainsi de compétences en écologie du paysage, mises à profit dans cette étude.

Le travail effectué au sein de cette équipe dans le cadre de ce stage s'inscrit dans la continuité d'un précédent stage, réalisé l'an dernier par un étudiant en deuxième année de Master (Lambert 2010 Mise en place d'une analyse paysagère à l'échelle du territoire préalable à la mise en révision de la charte du Parc naturel Régional de Lorraine). L'objectif du stage est de poursuivre l'étude précédente de manière à caractériser l'évolution spatio-temporelle du paysage sur un pas de temps de 10 ans.

Cette caractérisation constitue un état de référence pour le suivi du paysage du PnrL qui devrait être mis en place, via la création d'un Observatoire du paysage à long terme, lors de l'élaboration de la prochaine charte. L'analyse a également vocation à valider des travaux antérieurs du PnrL concernant la division de son territoire en Unités Paysagères ; UP = portion d'espace homogène dont les caractéristiques diffèrent du paysage environnant (Brunet-Vinck 2004) ; et pourra également permettre au PnrL d'évaluer l'efficacité des actions de préservation menées sur différentes zones du Parc.

Afin de répondre aux objectifs visés, le travail effectué durant le stage consiste :

- tout d'abord à compléter la spatialisation de l'échantillonnage dans le territoire (initiée en 2010 lors du stage précédent), de façon à augmenter la taille et la pertinence de la surface de territoire échantillonné.
- Puis à cartographier et renseigner les zones retenues grâce à l'utilisation de Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), dans le but d'extraire des indices de composition et de structure du paysage.
- Et enfin à caractériser, de manière quantitative et reproductible, le paysage et son évolution, notamment en effectuant des analyses statistiques sur les données acquises tout au long du stage.

Chacune de ces étapes nécessite la mise en place de méthodes appropriées décrites dans la première partie du rapport.

Les résultats obtenus via l'application de ces méthodes sont exposés dans une seconde partie afin de décrire le paysage du Parc et son évolution sur une décennie.

La troisième partie présente l'interprétation, les points de discussion et les pistes de réflexion concernant les résultats obtenus et la méthode utilisée.

³ « que la société a identifiés comme ayant une valeur intrinsèque et fondée principalement sur d'autres valeurs qu'économiques » (Rapport Chevassus-au-Louis 2009)

⁴ « n'ayant pas de valeur intrinsèque identifiée comme telle mais qui, par l'abondance et les multiples interactions entre ses entités, contribue à des degrés divers au fonctionnement des écosystèmes et à la production des services qu'y trouvent nos sociétés » (Rapport Chevassus-au-Louis 2009)

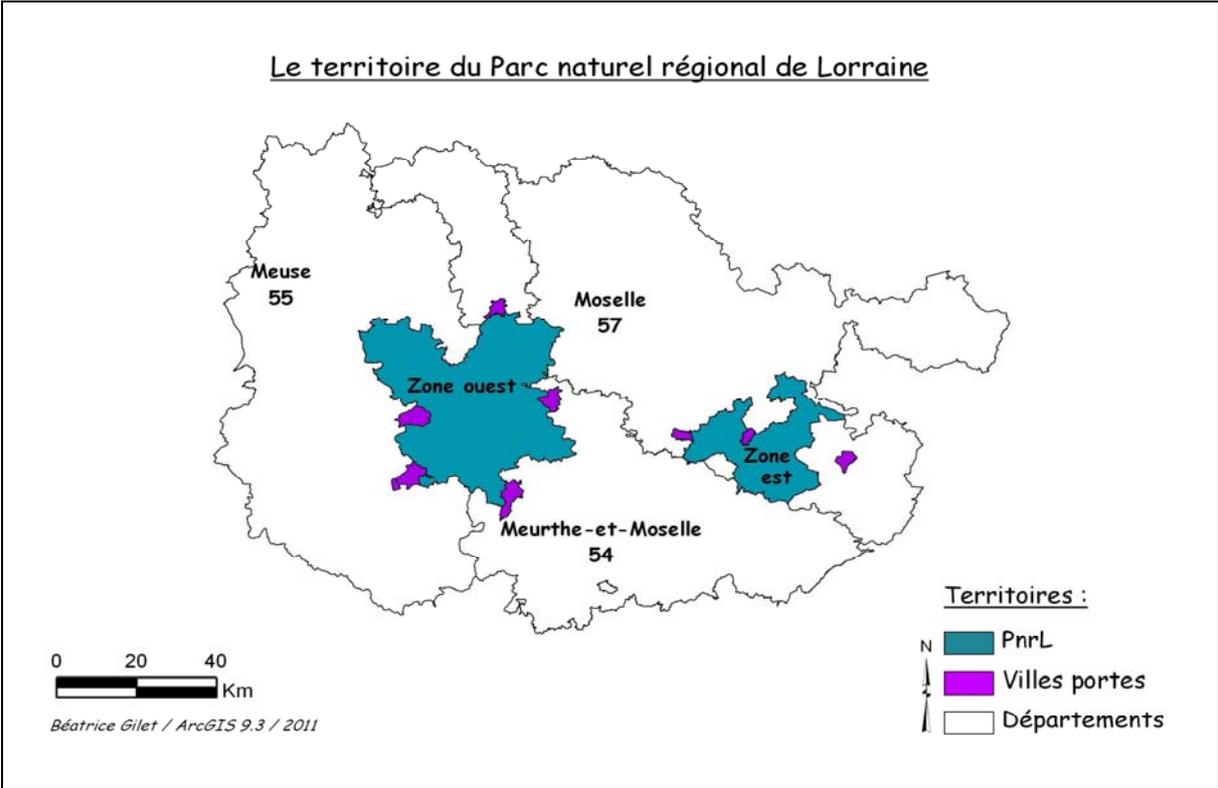


Figure 1 - Le territoire du Parc naturel régional de Lorraine

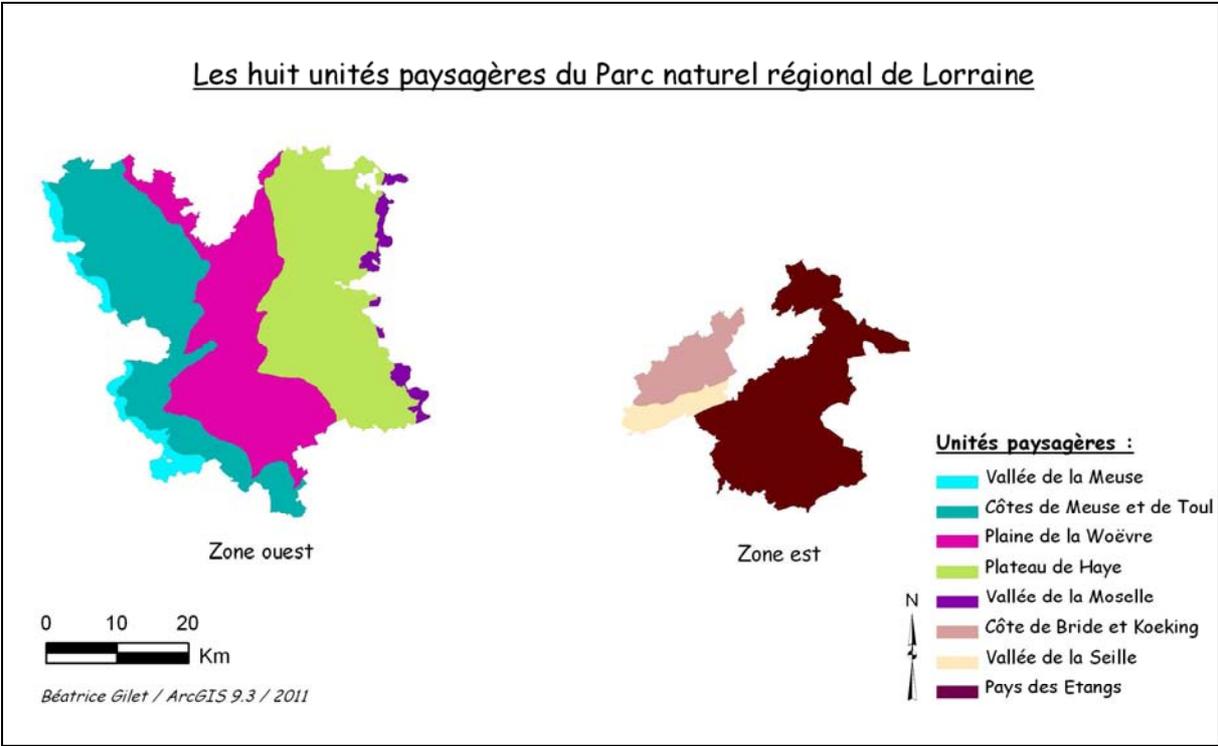


Figure 2 - Les huit unités paysagères du Parc naturel régional de Lorraine

MATERIEL ET METHODE

I) Acquisition des données paysagères

1) Présentation du site d'étude

Le territoire du Parc naturel régional de Lorraine est scindé en deux parties situées de part et d'autre d'une zone fortement urbanisée. Il occupe une superficie de 222 088 ha soit 11% de la superficie Lorraine et s'étend sur trois départements : la Meuse (55), la Meurthe-et-Moselle (54) et la Moselle (57). (Figure 1 ci-contre). Chacune des deux parties est divisée en plusieurs unités paysagères déterminées par le PnrL en fonction de critères morpho-géologiques.

La partie « ouest » comprend la Vallée de la Meuse (VME), les Côtes de Meuse et de Toul (CMT), la Plaine de la Woëvre (PWO), le Plateau de Haye (PHA) et la Vallée de la Moselle (VMO). La partie « est » comprend la Côte de Bride et Koeking (CBK), la Vallée de la Seille (VSE) et le Pays des Etangs (PET). (Figure 2 ci-contre)

Le Parc est principalement occupé par les terres agricoles et la forêt, il possède peu de surfaces artificialisées ce qui lui procure un aspect rural. En outre, il présente une variété de paysages et de milieux naturels remarquables et emblématiques de la plaine Lorraine, tels les vergers, les pelouses calcaires, les vallons froids forestiers, les mares salées et les prairies humides. Ces milieux abritent une faune et une flore très riche expliquant l'existence de nombreuses zones de protection, les plus réglementées étant les zones Natura 2000.

Natura 2000 ?

Instauré par l'Union Européenne, le dispositif Natura 2000 est destiné à la protection des milieux naturels ayant une forte valeur patrimoniale. L'identification de ces milieux repose sur l'application des directives Oiseaux (1979) et Habitats (1992), dont l'objectif est de créer un réseau écologique européen ayant une gestion indépendante des frontières administratives. Le dispositif Natura 2000 doit permettre d'atteindre les objectifs fixés par la Convention sur la diversité biologique, adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 et ratifiée par la France en 1996. La mise en place du réseau s'est faite plus ou moins rapidement selon les pays. Actuellement, 20% du territoire européen se trouve sous protection Natura 2000.

2) Approche analytique

Le paysage est étudié à partir d'orthophotographies (photographies aériennes rectifiées suivant la topologie) issues de la base de données Raster (BD ORTHO ®) conçue par l'IGN (Institut Géographique National). Celle-ci couvre l'ensemble du territoire français et est mise à jour tous les 5ans. Les orthophotographies, d'une résolution de 50cm, seront analysées par l'intermédiaire d'un Système d'Information Géographique (SIG) : le logiciel ArcGIS 9.3 ®.

Etant donné la précision souhaitée par Le PnrL (prise en compte des éléments fins du paysages : arbres isolés, bandes enherbées...), la superficie du Parc et le temps alloué à l'étude, une analyse exhaustive du paysage n'est pas envisageable. La mise en place d'un échantillonnage s'avère donc nécessaire.

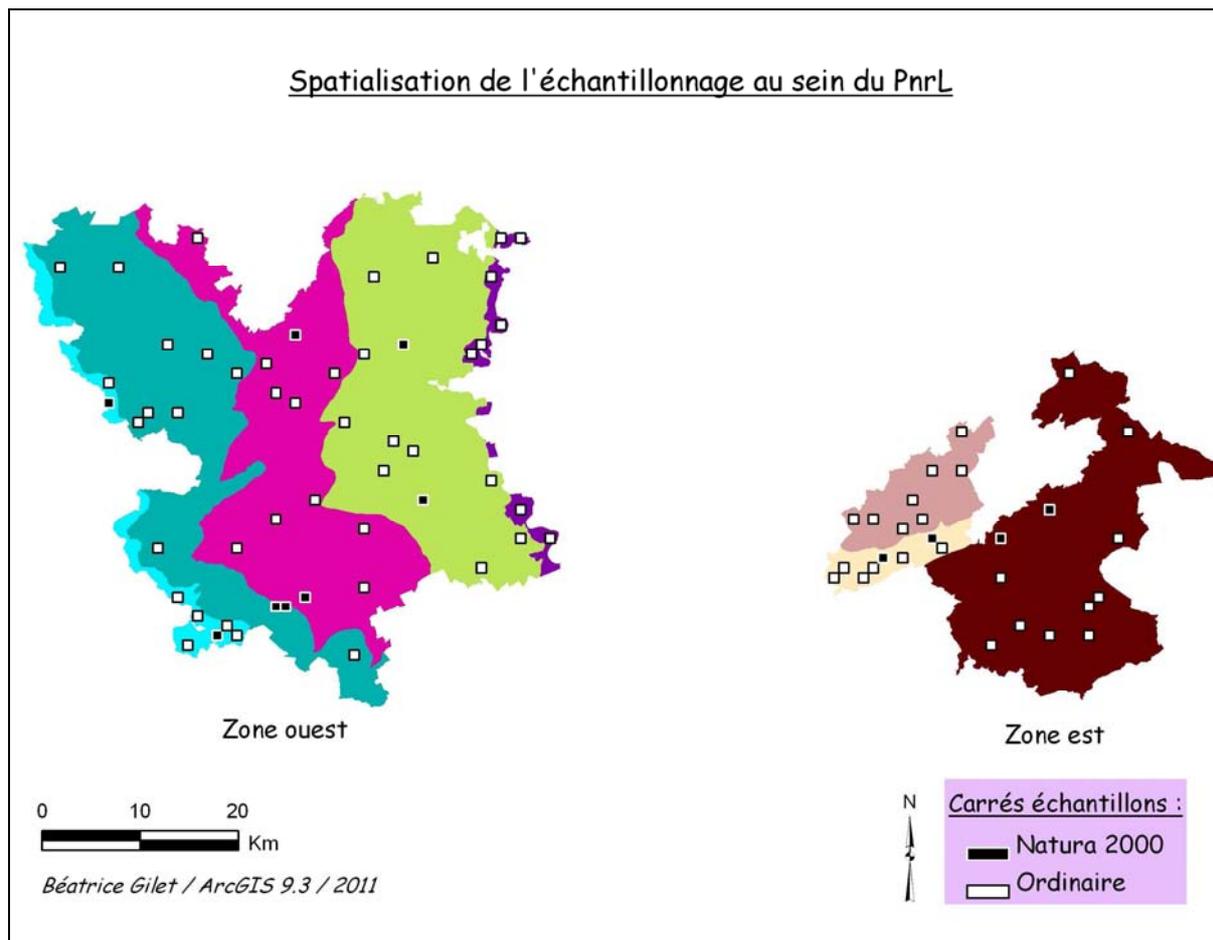


Figure 3 - Spatialisation des carrés échantillons au sein du Parc naturel régional de Lorraine

UP	Carrés totaux	Carrés Zone Ordinaire	Carrés Zone Natura 2000
VME	8	6	2
CMT	12	10	2
PWO	12	10	2
PHA	12	10	2
VMO	8	8	0
CBK	8	8	0
VSE	8	6	2
PET	12	10	2
TOTAL PnrL	80	68	12

Tableau 1 - Nombre de carrés au sein des unités paysagères, des zones Ordinaire et Natura 2000

Pour répondre aux attentes du PnrL et être représentatif de l'ensemble du paysage du Parc, la réflexion s'est orientée vers un échantillonnage stratifié prenant en compte les unités paysagères, les zones ordinaires (hors Natura 2000) et les zones Natura 2000.

Des sites d'études d'1 km² ont été retenus comme unité d'échantillonnage.

Cette échelle de 1km² permet de prendre en compte les éléments paysagers occupant une surface importante tout en fournissant une précision suffisamment élevée pour identifier les éléments fins (arbres, bandes enherbées...). Par ailleurs, des carrés d'1 km² sont couramment utilisés dans les programmes de monitoring du territoire en Europe. C'est par exemple le cas du Système national de monitoring de la biodiversité au Luxembourg, du « Countryside Survey » au Royaume-Uni (Haines-Young & al 2000), du Monitoring de la Biodiversité en Suisse (Hintermann & al 2002, <http://www.biodiversitymonitoring.ch>)

3) Stratégie d'échantillonnage

a) Stratégie d'échantillonnage spatial

Cette stratégie a pour objectifs d'assurer la pertinence de la spatialisation par rapport à l'organisation du territoire, l'obtention de données suffisamment robustes pour un traitement statistique et le respect du temps imparti à l'étude. La stratégie ainsi retenue est détaillée ci-dessous.

Une première stratification est effectuée en fonction des unités paysagères, 8 carrés échantillons de 1 km² sont attribués à chacune d'elles. Au sein des unités paysagères, une seconde stratification différenciant les zones Ordinaire (ZO) et Natura 2000 (ZN) est prise en compte. Parmi les 8 carrés mentionnés précédemment 6 sont dispersés dans la zone Ordinaire et 2 dans la zone Natura 2000 (8 carrés en zone Ordinaire pour les unités paysagères dépourvues de zones Natura 2000 : VMO, CBK). Enfin, 16 carrés supplémentaires sont répartis au sein des unités paysagères en fonction de leur superficie.

La répartition spatiale des carrés est effectuée de manière aléatoire sous SIG. Une grille formant un maillage kilométrique est appliquée sur le territoire du Parc, les carrés entièrement inclus dans les strates sont sélectionnés et constituent le pool dans lequel sont effectués les tirages aléatoires. Concernant les unités longues et étroites (VME, VMO) des carrés non-entièrement compris dans les strates sont pris en compte afin de pouvoir sélectionner le nombre de carrés échantillons souhaité.

La spatialisation finale permet d'échantillonner 80 carrés d'1 km² (Figure 3 ci-contre) soit 3,64 % de la superficie du PnrL. Ce pourcentage se situe dans la gamme de ceux mis en œuvre dans les études européennes citées précédemment. En effet, la pression d'échantillonnage pratiquée pour le Monitoring de la Biodiversité en Suisse, le programme « Countryside Survey » au Royaume-Uni et le Système national de monitoring de la biodiversité au Luxembourg est respectivement de 1.25%, 0.23% et 8.7% du territoire.

Par ailleurs, la stratégie adoptée permet d'échantillonner au minimum 2% de la superficie de chaque strate.

b) Stratégie d'échantillonnage temporel

L'étude paysagère est basée sur l'analyse des orthophotographies (OP) fournies par l'IGN.

Par conséquent la stratégie temporelle est dépendante des dates auxquelles celui-ci réalise les campagnes photographiques. Les prises de vue ayant lieu tous les 5 ans, le paysage est étudié avec cette même périodicité. Ce rythme d'étude est cohérent avec d'autres monitorings dont la périodicité varie entre 3 et 8 ans.

Cependant, les différents départements français ne sont pas tous photographiés la même année. Les dates de prise de vue concernant la Meuse, la Meurthe-et-Moselle et la Moselle sont présentées ci-dessous (Tableau 2).

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

OP disponibles
 OP non disponibles

Tableau 2 - Dates des campagnes photographiques IGN selon les départements étudiés.

Les prises de vue à la date 3 n'étant pas disponibles pour la Meuse, les unités paysagères situées dans ce département (VME, CMT et PWO) sont étudiées uniquement aux dates 1 et 2, soit sur un pas de temps de cinq ans. En revanche, l'évolution du paysage concernant les cinq unités localisées en Meurthe-et-Moselle et Moselle est analysée tous les cinq ans sur une période de dix ans. Les orthophotographies correspondant aux 80 carrés d'étude et à leurs dates respectives sont ensuite localisées suivant leurs coordonnées puis extraites de la BD ORTHO ® pour être vectorisées.

4) Vectorisation

a) Principe

La vectorisation est réalisée par l'intermédiaire d'un Système d'Informations Géographiques : le logiciel ArcGIS9.3®.

Cette étape permet de cartographier et d'identifier les éléments paysagers présents dans les carrés échantillons. Elle consiste à passer d'un raster à un vecteur.

Raster / Vecteur ?

Un **raster** est une image composée de pixels (ex : orthophotographies)



Un **vecteur** est une image composée d'objets pouvant être des points, des lignes ou des polygones.



Dans cette étude les vecteurs sont composés de polygones. Ces derniers sont tracés en suivant les contours des différents éléments paysagers observés sur les orthophotographies (raster), de manière à ce que vecteur et raster se superposent le plus parfaitement possible. La vectorisation est réalisée avec une précision de 2m, en dessous de laquelle les éléments sont difficilement identifiables. Une table attributaire est ensuite renseignée de manière à associer à chaque polygone un type d'occupation du sol.

Typologie simplifiée (6 classes)	Typologie détaillée (12 classes)
milieux forestiers	forêt (for)
	friche arbustive (fri)
	haie (hai)
	arbre isolé (arb)
milieux herbacés	prairie (pra)
	zone herbacée autre (her)
cultures	cultures (cul)
vergers	vergers (ver)
milieux aquatiques	milieux aquatiques (aqu)
milieux anthropiques	voie de communication (vco)
	bâti (bât)
	jardin et potager (jar)

Tableau 3 - Typologies de l'occupation du sol

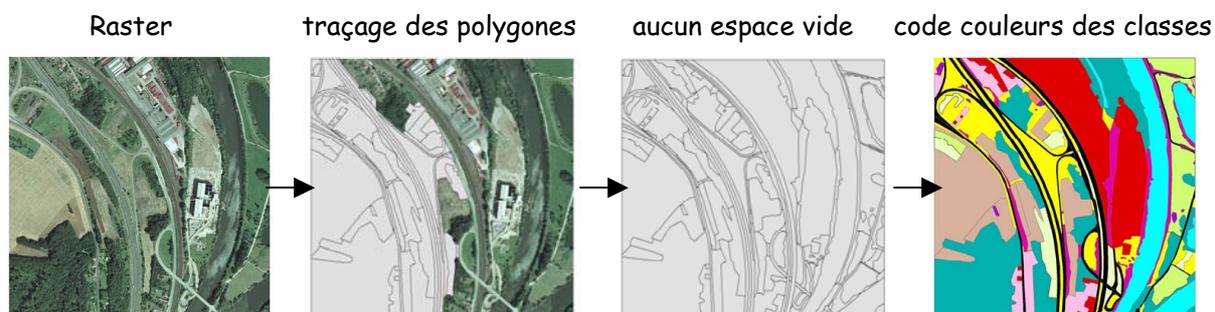


Figure 4 - Vectorisation d'une orthophotographie.

FID	Shape *	occsol	MINX	MINY	MAXX	MAXY	CNTX	CNTY	AREA
0	Polygone	for	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	713534,400553
1	Polygone	for	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	4297,834944
2	Polygone	vco	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	2382,487441
3	Polygone	hai	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	1629,620168
4	Polygone	fri	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	2103,72344
5	Polygone	fri	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	3177,351664
6	Polygone	pra	872000	2452000	873000	2453000	872500	2452500	89310,918972

Enregistrement: 0 Afficher: Tout Sélectionnés Enregistrements (0 sur 47)

Figure 5 - Table attributaire associée à un vecteur

b) Définition de la typologie de l'occupation du sol

Afin d'assurer la reproductibilité de la méthode, de réduire les erreurs de photo-interprétations notamment entre différents observateurs et de représenter le paysage le plus précisément possible, une typologie concernant l'occupation du sol est déterminée. Celle-ci comprend 6 classes d'occupation du sol dans sa version simplifiée et 12 dans sa version détaillée (Tableau 3 ci-contre).

c) Processus de vectorisation

La première étape consiste à vectoriser (Figure 4 ci-contre) une à une les orthophotographies correspondant à la date 1 des 80 carrés d'étude. Pour cela un vecteur vide est créé pour chacune des orthophotographies. Pour chaque carré d'études, les polygones sont alors dessinés l'un après l'autre en suivant le paysage observé par transparence sur les rasters (OP). Chaque polygone est renseigné selon la typologie présentée précédemment.

56 carrés sur les 80 ont été vectorisés l'an dernier lors du précédent stage.

Les 80 couches vectorielles de polygones ainsi obtenues sont ensuite copiées puis superposées respectivement aux 80 orthophotographies correspondant à la date 2, de manière à effectuer les modifications survenues entre les deux dates (modifications attributaires et modifications de formes), tout en gardant strictement identiques les zones paysagères n'ayant pas subi de changements.

36 carrés sur les 80 ont été vectorisés l'an dernier lors du précédent stage.

De la même façon, les vecteurs correspondant à la date 2 sont copiés et superposés aux rasters issus de la date 3 afin d'effectuer les modifications nécessaires. A ce jour, il est possible de vectoriser 53 orthophotographies à la date 3, les 27 restantes, situées en Meuse, seront disponibles en 2012. Aucun carré correspondant à la date 3 n'a été numérisé l'an dernier, les orthophotographies de 2009 n'étant alors pas disponibles.

Ainsi, 213 vecteurs (80 date1, 80 date2, 53 date3) sont créés. Chaque vecteur est associé à une table attributaire listant notamment les polygones qui le constituent, leurs types d'occupation du sol respectifs ainsi que leurs surfaces (Figure 5 ci-contre).

Les données issues de la vectorisation permettent de calculer des indices reflétant la structure et la composition du paysage.

II) Mesurer la composition et la structure du paysage

1) Définition des concepts

a) Composition et structure

L'écologie du paysage s'attache notamment à caractériser l'organisation des paysages. Pour cela, cette discipline a développé des approches visant à décrire leur composition et leur structure, afin d'en comprendre les relations avec le fonctionnement écologique.

La composition du paysage correspond à la nature des classes qui le constituent (forêt, prairie...). Un paysage peut être formé d'une seule ou de plusieurs classes. L'agencement de ces classes dans l'espace détermine la structure du paysage.

Composition et structure forme un tout appelé mosaïque paysagère (Duelli 1997) dont les caractéristiques sont étudiées à travers différents concepts :

-la composition de la mosaïque est décrite par le nombre, la nature et la surface des classes qui la constituent.

-sa structure est analysée à travers deux concepts majeurs en écologie du paysage : la connectivité et la fragmentation des habitats. Ces dernières font appel aux notions de « patchs » : fragments d'une classe, et de « corridors » : structures écologiques permettant le déplacement des populations animales et/ou végétales entre les patchs.

-un troisième concept, l'hétérogénéité de la mosaïque, combine les notions de composition et structure.

b) Connectivité des classes

La connectivité spatiale (Figure 6) correspond au lien entre les différents patchs d'une même classe (ex : patchs forestiers). Plus la distance entre les patchs est faible, plus la connectivité de cette classe est élevée, et inversement. Cependant, la présence de corridors peut augmenter la connectivité d'une classe dont les patchs sont relativement éloignés. (Burel & al 1999)

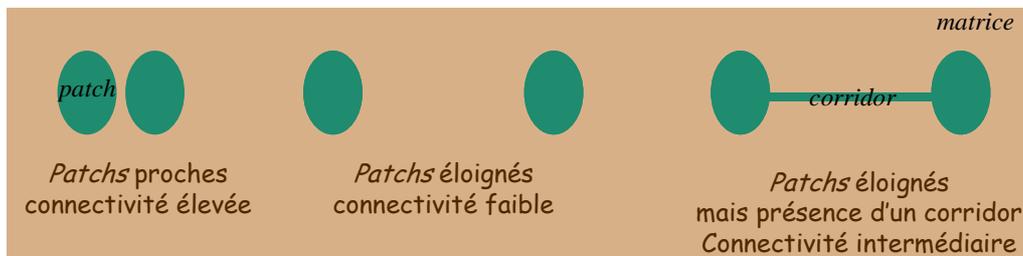


Figure 6 - Concept de connectivité spatiale

c) Fragmentation des classes

La fragmentation (Figure 7) reflète le morcellement plus ou moins important d'un type d'occupation du sol. Le concept peut être exprimé de cette façon : pour une classe de surface constante, plus les patchs sont nombreux, de petites tailles et de formes complexes plus cette classe est fragmentée. En l'absence de corridors, une augmentation du degré de fragmentation entraîne une baisse de la connectivité (Burel & al 1999).

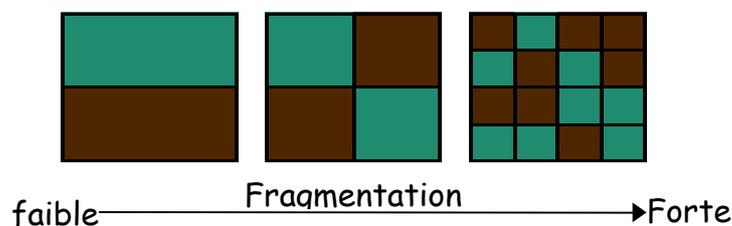


Figure 7 - Concept de fragmentation spatiale

d) Hétérogénéité du paysage

L'hétérogénéité du paysage (Figure 8) traduit à la fois la diversité des éléments qui le composent et la complexité de leur arrangement spatial. Elle croît avec le nombre de classes présentes dans le paysage, la variation de leurs proportions et/ou le degré de fragmentation (Burel & al 1999).

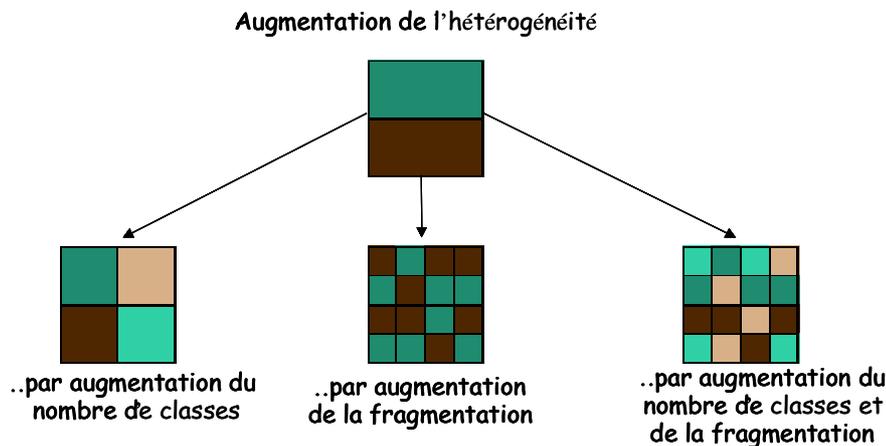


Figure 8 - Concept d'hétérogénéité spatiale

Face à la nécessité de quantifier ces concepts (Burel & al 1999), des indices ont été développés en écologie du paysage de manière à établir une métrique adaptée à cette discipline. Ainsi, l'utilisation d'indices pour mesurer la composition et la structure du paysage est une approche fréquemment rencontrée dans la littérature (Benedek & al 2011, Morgan & al 2010, Mortelliti & al 2011). Toutefois, cette démarche est relativement récente (début des années 1980) et la recherche d'indices toujours plus pertinents se poursuit (Saura 2010, Imre & al 2011, Kadoya & al 2011). Par ailleurs, une analyse de la bibliographie montre que de nombreuses études utilisent le logiciel Fragstats[®] pour calculer les indices (Germaine & al 2008, Aguillera & al 2011). Après une recherche sur d'autres méthodes de calcul d'indices et sur les capacités de Fragstats[®], ce logiciel a été retenu pour calculer la majorité des indices qui seront utilisés dans cette étude.

2) Choix et calcul des indices

a) Fragstats 3.3[®]

Le logiciel Fragstats[®], proposé dans le domaine public en 1995 (McGarigal & al 1995), a été développé dans le but de quantifier l'organisation spatiale des paysages. Il s'agit d'un produit gratuit, disponible sur Internet et couramment employé en écologie du paysage.

Fragstats[®] propose actuellement plus d'une centaine d'indices (110) mesurant divers aspects du paysage. Certains apportent des informations redondantes, d'autres sont complémentaires. L'analyse de l'ensemble des indices a permis d'en sélectionner certains (10) pour leur pertinence par rapport aux objectifs de l'étude, la simplicité de leur formule et leur facilité d'interprétation, cela dans un souci de communication avec les partenaires du PnrL et de reproductibilité de l'étude dans le cadre de l'Observatoire du paysage. Seuls les indices retenus sont présentés dans la suite du rapport.

D'un point de vue plus technique, le logiciel Fragstats® effectue les calculs sur des fichiers rasters. Il est donc nécessaire de transformer les 213 vecteurs créés précédemment (Partie I-4) en rasters. La rasterisation est effectuée sous ArcGIS grâce à plusieurs étapes basées sur l'utilisation d'outils de conversion et d'export. Cette procédure permet de découper un vecteur en mailles régulières appelées pixels tout en associant l'information « classe d'occupation du sol » à chacun des pixels. Les rasters obtenus sont donc formés de six (typologie simplifiée) ou 12 (typologie détaillée) types de pixels. Dans cette étude le grain des rasters est de 16m² (pixels de 4m de côté). Après paramétrage du logiciel, les indices retenus sont calculés sur chacun des 213 rasters chargés dans Fragstats ® l'un après l'autre.

b) Indice de composition (formules en annexe 1)

L'indice retenu pour caractériser la composition du paysage est la proportion de chaque classe d'occupation du sol dans le paysage considéré.

Contrairement aux indices présentés dans les paragraphes suivants, celui-ci est facilement calculable à partir des données issues des tables attributaires des vecteurs, il ne sera donc pas calculé avec le logiciel Fragstats. La proportion de chaque classe est calculée pour chacun des carrés aux trois dates, la moyenne des proportions de chaque classe est ensuite calculée par date sur l'ensemble du Parc puis sur chacune des unités paysagères et enfin au sein des zones Ordinaire et Natura 2000.

c) Indices de connectivité (formules en annexe 1)

- **ENN_MN** correspond à la moyenne des distances au plus proche voisin des patches d'une même classe. La valeur de ENN_MN approche 0 lorsque la distance au plus proche voisin diminue. Sa valeur maximale n'a pas de limite, elle est liée à la taille du paysage étudié.

-**CONNECT** exprime la proportion de jonctions entre les patches d'une classe par rapport au maximum de jonctions possibles dans cette classe. Deux patches sont considérés comme joints lorsqu'ils se situent dans un rayon donné, pour cette étude le rayon est de 100m (valeur utilisée par le PnrL notamment concernant la connectivité des haies). La valeur de CONNECT varie de 0 ; lorsqu'aucun patch de la classe ne se situe dans le rayon choisi ; à 100 ; lorsque l'ensemble des patches de la classe se situe dans le rayon.

- **PROX_MN** correspond à la moyenne des indices de proximité des patches d'une même classe. Pour chacun des patches de la classe considérée, il prend en compte la taille des patches situés dans un rayon donné (100m) et la distance qui les sépare. La valeur minimale de PROX_MN est 0 ; lorsqu'aucun autre patch de la classe ne se situe dans le rayon fixé autour du patch considéré. Elle augmente d'autant plus qu'il y a de patches de la classe dans le rayon et que ces patches sont proches. La valeur maximale de PROX_MN dépend du rayon fixé et de la distance minimum entre les patches.

d) Indices de fragmentation (formules en annexe 1)

-**LSIclasse** reflète à la fois le morcellement et la forme des patches, il correspond au périmètre de l'ensemble des patches de la classe rapporté au périmètre minimal si les patches étaient tous agrégés et de forme compacte.

LSIclasse a une valeur minimale de 1, lorsque la classe est composée d'un patch unique et compact. Sa valeur s'élève d'autant plus que les patches sont de formes complexes, et/ou d'autant plus qu'ils sont individualisés.

- **MESH**classe (Jaeger 2000) reflète le degré de morcellement de la classe étudiée par rapport à une classe formant un patch unique, de surface maximale (= le paysage étudié).

La valeur de MESH correspond à la surface d'une maille, si le morcellement de la classe était représenté par une grille régulière et est proportionnel à la probabilité que deux points (pixels) choisis par hasard dans le paysage se situent dans un même patch de la classe étudiée. MESH prend une valeur minimale lorsque la classe correspond à un pixel unique et atteint une valeur maximale lorsque la classe occupe l'ensemble du paysage.

e) Indices d'hétérogénéité

SHDI et SIDI mesure l'hétérogénéité liée à la composition :

-**SHDI** est l'indice de diversité de Shannon appliqué au paysage. Il prend en compte le nombre de classe et leur proportion respective. La valeur minimale de SHDI est 0, lorsque le paysage est formé d'une classe unique. Sa valeur augmente d'autant plus qu'il y a de classes dans le paysage et que leurs proportions sont équitables.

-**SIDI** est l'indice de diversité de Simpson appliqué au paysage : il est moins sensible aux classes peu abondantes que l'indice de Shannon et son interprétation est plus intuitive : il représente la probabilité que deux pixels du paysage appartiennent à deux classes différentes.

LSI et MESH mesure l'hétérogénéité liée à la structure :

-**LSI**paysage suit le même principe que l'indice LSIclasse présenté précédemment mais à l'échelle du paysage, il prend en compte la totalité des patches.

-**MESH**paysage suit le même principe que l'indice MESHclasse présenté précédemment à la différence qu'il est calculé à l'échelle du paysage, il prend en compte l'ensemble des patches de toutes les classes. Il correspond à la probabilité que deux pixels choisis par hasard dans le paysage se situent dans un même patch.

Les indices sont calculés pour chacun des 213 rasters puis font l'objet d'une étude statistique.

3) Analyses statistiques

Les données sont d'abord étudiées selon une approche globale multivariée reposant sur la réalisation d'analyse en composantes principales (ACP), afin de rechercher l'existence éventuelle de corrélation ou opposition entre les variables.

Des analyses univariées sont ensuite effectuées afin d'affiner l'étude des données.

Pour cela des comparaisons de moyennes ont été effectuées grâce aux tests présentés dans le tableau 4 ci-dessous. Concernant les comparaisons de deux moyennes, la normalité des données a été préalablement étudiée via des tests de Shapiro-Wilk. Concernant les variables soumises aux ANOVA (analyse de variance), la vérification de la normalité, des variances des résidus et de leurs indépendances a été effectuée avec respectivement les tests de Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan et Durbin-Watson. Des comparaisons multiples post-ANOVA ont ensuite été effectuées via des tests de Tukey. De la même façon, les tests de Kruskal-Wallis ont été suivis de comparaisons multiples post-Kruskal-Wallis.

Pour chacun des tests un seuil de risque de 0.05 a été utilisé.

	Comparaison de 2 moyennes		Comparaison de plus de 2 moyennes	
Conditions :	indépendantes	appariées	indépendantes	appariées
Paramétriques	Non rencontré	Student app.	Anova	Non rencontré
Non paramétriques	Mann-Whitney	Wilcoxon	Kruskal-wallis	Non rencontré

Tableau 4 - Tests statistiques mis en œuvre afin d'analyser les données.

RESULTATS

I) Composition et structure du paysage : état des lieux à la date 1

1) Composition du paysage du Parc naturel régional de Lorraine

Les données issues de l'échantillonnage des 80 carrés à la date 1 permettent de présenter le territoire du Parc naturel régional de Lorraine en terme d'occupation du sol au point initial de l'Observatoire du paysage.

D'après ces données, le territoire du PnrL est principalement composé de milieux forestiers (34,95 %) et de cultures (33,55%) en proportions quasi-équivalentes (Figure 9). Les milieux forestiers sont formés essentiellement de forêts (29,30%) avec peu de friches arbustives (3,64%), haies (1,39%), et arbres (0,12%) (Tableau 5).

La proportion des milieux herbacés (23,28%) est inférieure d'environ 10 % à celle des milieux forestiers et des cultures (Figure 9). Elle est très majoritairement liée à la présence de prairies qui représentent 21,75% du territoire contre 1,52% pour les zones herbacées autres (Tableau 5).

Les milieux anthropiques (5,68%), aquatiques (2,01%) et les vergers (0,55%) font partie des classes les moins représentées (Figure 9). Les milieux anthropiques comprennent à parts quasi-égales des zones bâties (2,48%) et des jardins (2,06) ainsi que 1,14 % de voies de communication (Tableau 5).

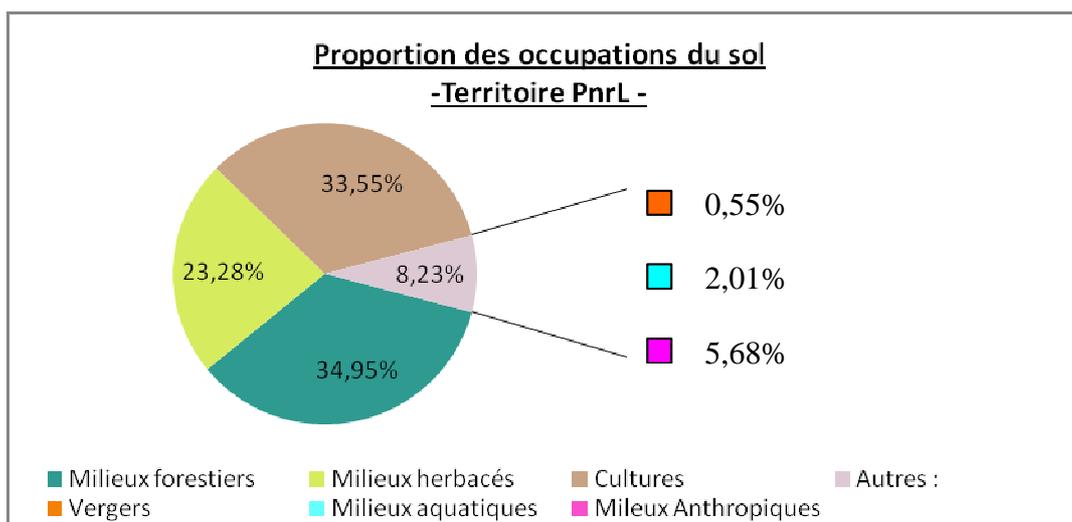


Figure 9 - Proportions des occupations du sol sur le territoire du PnrL à la date 1 selon la typologie simplifiée.

%for	%fri	%hai	%arb	%pra	%her	%cul	%ver	%aqu	%vil	%jar	%vco
29,80	3,64	1,39	0,12	21,75	1,52	33,55	0,55	2,01	2,48	2,06	1,14

Tableau 5 - Proportions des occupations du sol sur le territoire du PnrL à la date 1 selon la typologie détaillée

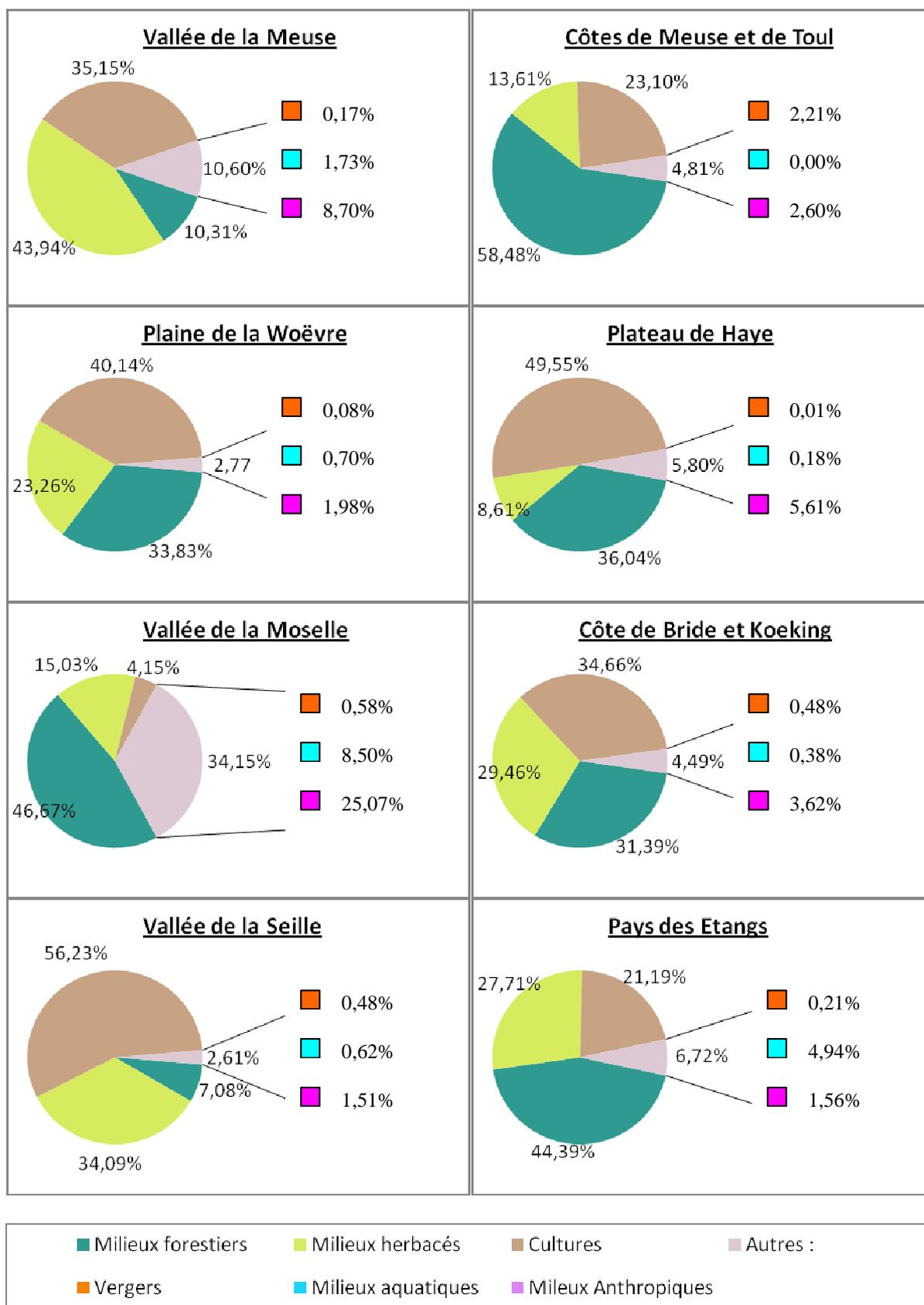


Figure 10 - Proportions des occupations du sol des huit unités paysagères du PnrL à la date 1 selon la typologie simplifiée

2) Unités paysagères

a) Composition (figure 10, tableau 6, annexe 2)

La Vallée de la Meuse présente la plus forte proportion de milieux herbacés (43,93%), différente (Anova $p=0.00074$) de celles de CMT (13,61%) et PHA (8,61%) qui comprennent les plus faibles proportions concernant ces milieux. VME présente également une part importante de cultures (35,15%) ainsi que des proportions de milieux anthropiques (8,70%) et de haies (2,89%) supérieures à la moyenne du parc (respectivement 5,68% et 1,39%).

Les Côtes de Meuse et de Toul affichent la proportion de milieux forestiers (58,48%) la plus élevée, différente (Anova $p=0.00491$) de celles de VSE (7,08%) et VME (10,31%) qui disposent des plus faibles pourcentages de milieux forestiers. CMT comprend également la proportion de vergers (2,21%) la plus importante et ne contient aucun milieu aquatique.

La Plaine de la Woëvre offre un paysage avec des proportions plus équitables concernant les cultures (40,14%), les milieux forestiers (33,83%) et les milieux herbacés (23,26%). Elle fait cependant partie des trois unités les plus cultivées, avec une part de cultures différente (Anova $p=0.00083$) de celle de VMO (4,15%).

Le Plateau de Haye présente une forte proportion de cultures (49,55%) différente (Anova $p=0.00083$) de celle de VMO (4,15%). C'est l'unité qui compte le moins de vergers (0,01%).

La Vallée de la Moselle comporte le pourcentage de milieux anthropiques (25,07%) le plus conséquent avec 13,38% de bâti, 8,72% de jardins et 2,98 % de voies de communication.

C'est également l'unité qui comprend les plus grandes proportions de milieux aquatiques (8,50%), de haies (3,09 %) et de zones herbacées autres (3,07%). VMO est occupée en grande partie par les milieux forestiers (46,67%) et présente la plus faible part de cultures (4,15%) différente (Anova $p=0.00083$) de celles de VSE (56,23%), PHA (49,55%) et PWO (40,14%).

La Côte de Bride et Koeking dispose des proportions les plus équilibrées entre les cultures (34,66), les milieux forestiers (31,39 %) et les milieux herbacés (29,46%).

La Vallée de la Seille comprend le pourcentage de culture le plus important (56,23%) différent (Anova $p=0.00083$) de celui de VMO (4,15%). Elle contient également une grande part de milieux herbacés (34,09%), formés principalement par la prairie (pra=32,67%) dont la proportion est différente (Anova $p=0.00043$) de celle de PHA (pra=7,03%).

Le Pays des Etangs présente un fort pourcentage de milieux forestiers (44,37%) formés principalement par la forêt (for= 39,82%) dont la proportion est différente (Anova $p=0.00301$) de celle de VSE (for=5,44%). Les cultures et les milieux herbacés sont équilibrés avec des proportions respectives de 21,19 % et 29,46%. Cette unité présente une part importante de milieux aquatiques (4,94%).

UP	%for	%fri	%hai	%arb	%pra	%her	%cul	%ver	%au	%bât	%jar	%vco
Vallée de la Meuse	4,03	3,26	2,89	0,13	42,32	1,61	35,15	0,17	1,73	3,4	3,98	1,32
Côtes de Meuse et de Toul	53,97	3,63	0,77	0,1	12,66	0,96	23,1	2,21	0	1,04	0,75	0,81
Plaine de la Woëvre	27,87	1,61	0,87	0,09	22,1	1,46	43,01	0,09	0,76	1,22	0,05	0,88
Plateau de Haye	32,1	2,97	0,87	0,1	7,03	1,58	49,55	0,01	0,18	1,71	2,85	1,05
Vallée de la Moselle	30,14	13,3	3,09	0,15	11,96	3,07	4,15	0,58	8,5	13,8	8,72	2,98
Côte de Bride et Koeking	27,75	2,1	1,36	0,18	28,44	1,03	34,66	0,48	0,38	1,18	1,68	0,77
Vallée de la Seille	5,44	0,67	0,83	0,15	32,67	1,42	56,23	0,48	0,62	0,37	0,07	1,06
Pays des Etangs	39,82	3,16	1,31	0,09	26,29	1,42	21,19	0,21	4,94	0,33	0,48	0,75

Tableau 6 - Proportion des occupations du sol au sein des 8 unités paysagères à la date 1 selon la typologie détaillée

b) Structure (figure 11)

Les indices de connectivité et d'hétérogénéité ne présentent pas de résultats significatifs. Les principaux résultats concernant la fragmentation sont présentés ci-dessous :

Indice MESH

La valeur de MESH varie de 0,62 (PHA) à 16,15 (VME) pour les milieux herbacés, de 0,95 (VME) à 43,51 (CMT) pour les milieux forestiers et de 0,19 (VMO) à 23,30 (PHA) pour les cultures.

Le Plateau de Haye présente les milieux herbacés les plus fragmentés, différents (Kruskal $p=0.00279$) de ceux de VME.

La Vallée de la Moselle dispose des cultures les plus fragmentées, différentes (Kruskal $p=0.00318$) des cultures de PHA, PWO et VSE.

La Vallée de la Seille comprend des forêts plus fragmentées (Kruskal $p=0.00272$) que celles de PET et CMT.

Indice LSI

L'indice LSI est moins discriminant avec des variations globales de 2,49 (VMO cultures) à 9,51 (PHA herbacés). Une différence significative (comparaisons multiples post-Kruskal) est toutefois mise en évidence concernant les milieux herbacés de PHA plus fragmentés que ceux de PET.

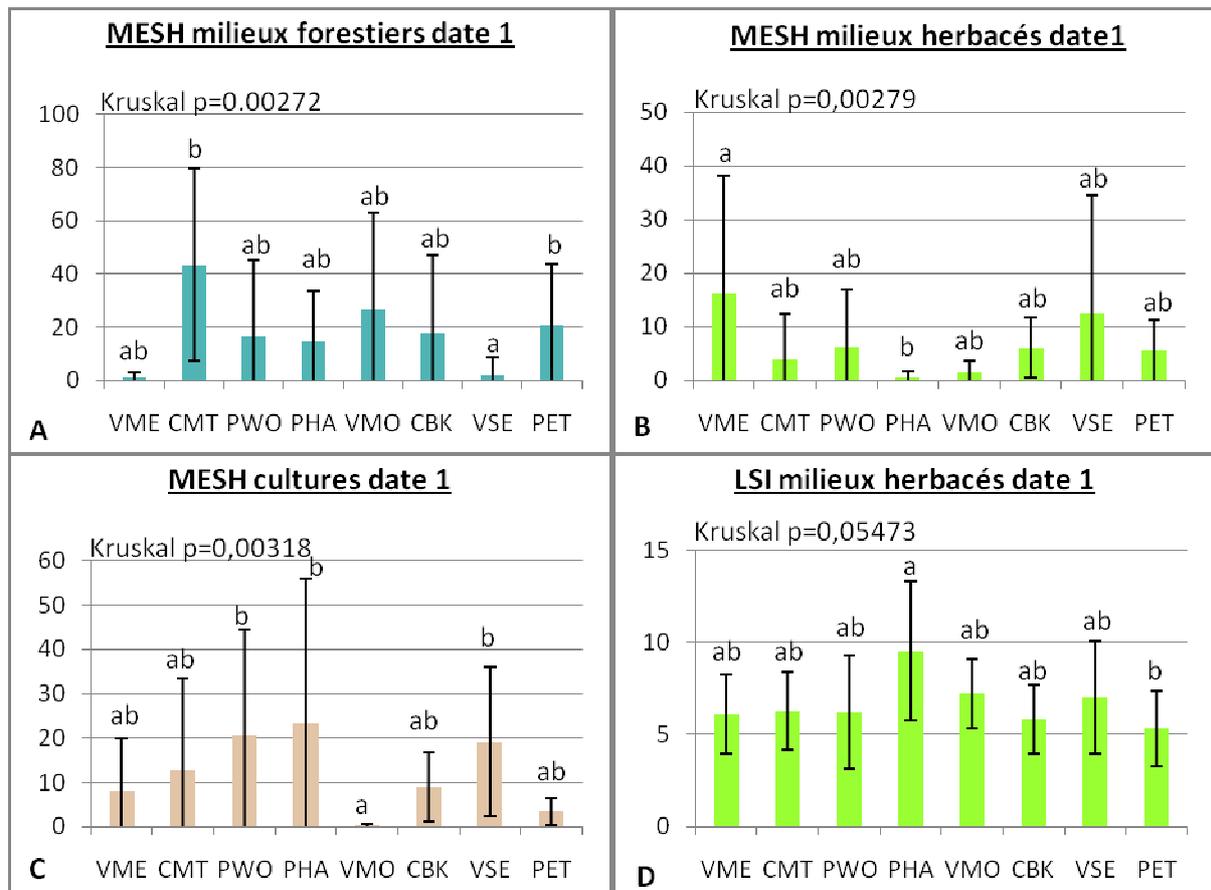


Figure 11 - Fragmentation selon MESH des milieux forestiers (A), herbacés (B) et des cultures (C) et fragmentation des milieux herbacés selon LSI (D), en fonction des unités paysagères

3) Composition des zones Ordinaire et Natura 2000 (Figure 12, Tableau 7, Annexe 2)

Par rapport à la zone Ordinaire (ZO), la zone Natura 2000 (ZN) comprend une plus forte proportion de milieux forestiers (41,66% contre 33,76% en ZO) avec une différence significative pour les arbres (0,19% contre 0,11 % en ZO, Wilcoxon $p=0.02878$). Ses proportions sont également plus élevées concernant la forêt (35,24% contre 28,84% en ZO), les haies (2,14% contre 1,26% en ZO) et les friches arbustives (4,09% contre 3,56% en ZO).

Les milieux herbacés sont particulièrement plus représentés au sein de la zone Natura 2000 (39,54% contre 20,41% en ZO, Wilcoxon $p=0.03271$), ceux-ci sont liés à la proportion des prairies qui est de 37,92% en ZN contre 18,90% en ZO (Wilcoxon $p=0.04243$). Les zones herbacées autres étant quasi-équivalentes au sein des deux zones (her = 1,62% en ZN et 1,51% en ZO).

La part des milieux aquatiques est également plus importante dans la zone Natura 2000 (3,09%) que dans la zone Ordinaire (1,67% Wilcoxon $p=0.00070$). En revanche, les cultures (12,89% contre 37,19 % en ZO, Wilcoxon $p=0.00872$) et les milieux anthropiques (1,55% contre 6,4% en ZO) y sont moins présents.

La proportion de vergers est quasiment identique dans les deux zones (0,45% en ZN et 0,57% en ZO).

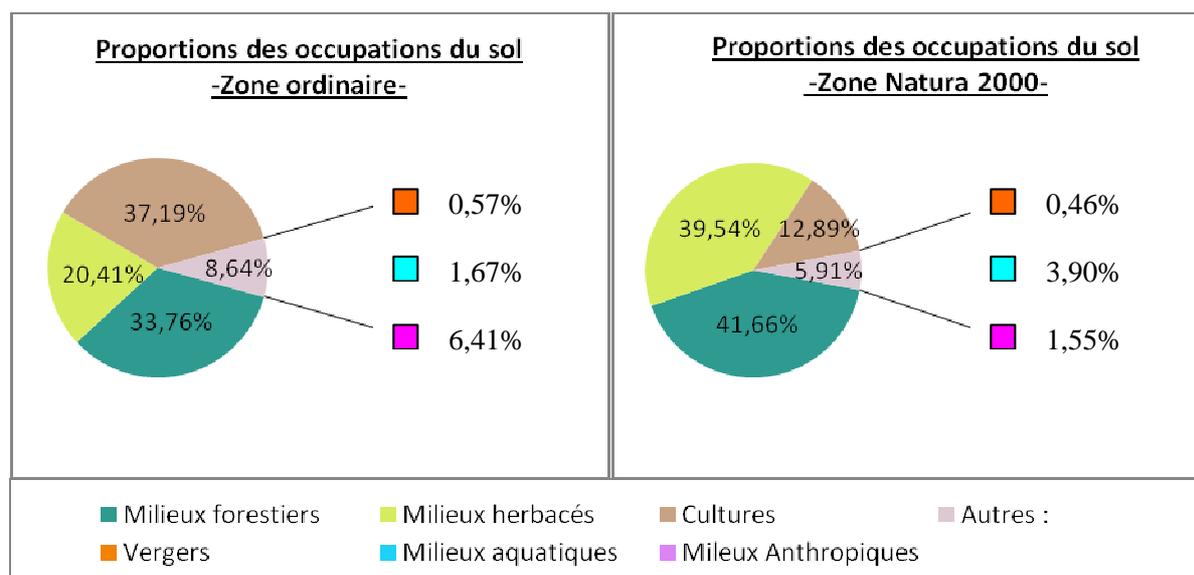


Figure 12 - Proportions des occupations du sol des zones Ordinaire et Natura 2000 à la date 1 selon la typologie simplifiée

Zones	%for	%fri	%hai	%arb	%pra	%her	%cul	%ver	%aqu	%bât	%jar	%vco
Ordinaire	28,84	3,56	1,26	0,11	18,90	1,51	37,19	0,57	1,67	2,87	2,36	1,17
Natura 2000	35,25	4,09	2,14	0,19	37,92	1,62	12,89	0,46	3,90	0,23	0,39	0,93

Tableau 7 - Composition des zones Ordinaire et Natura 2000 à la date 1 selon la typologie détaillée

II) Evolution temporelle de la composition et de la structure du paysage sur 5 ans (8UP) et 10 ans (5UP)

1) Composition

a) Territoire du Parc naturel régional de Lorraine

La comparaison des données entre les dates 1 et 2 révèle que la surface des milieux forestiers du territoire du PnrL diminue (Wilcoxon $p= 0.00887$) alors que celle des zones herbacées autres augmente (her : Wilcoxon $p= 0.00936$).

Concernant les dates 1 et 3, la comparaison des données n'est possible que pour une partie du Parc (5 UP disponibles en 2009). Elle montre une diminution des milieux herbacés (Wilcoxon $p= 0.02092$), avec une réduction de la surface prairiale (pra : Wilcoxon $p= 0.00265$) alors que la surface des zones herbacées autres progresse (her: Wilcoxon $p= 0.03224$).

Les milieux anthropiques présentent également une augmentation de leur surface entre les date 1 et 3 (Wilcoxon $p= 0.00866$).

b) Unités paysagères

La Vallée de la Meuse présente une augmentation des milieux anthropiques entre les dates 1 et 2 (Wilcoxon $p= 0.03603$).

Les Côtes de Meuse et de Toul affichent pour ces mêmes dates une diminution des haies (Wilcoxon $p=0.02249$).

La Vallée de la Seille subit une perte concernant les milieux forestiers entre les dates 1 et 3 (Wilcoxon $p= 0.03906$) ainsi qu'une réduction de sa surface prairiale (Wilcoxon $p=0.03906$). Entre les dates 1 et 2, VSE présente également une diminution des haies (Wilcoxon $p= 0.02249$).

La Vallée de la Moselle est sujette à un accroissement des surfaces herbacées autres (her) entre les date 1 et 2 (Wilcoxon $p=0.03603$), mais également à un déclin des milieux herbacés entre les dates 1 et 3 (Wilcoxon $p= 0.01563$), à travers la réduction de sa surface prairiale (Wilcoxon $p=0.02249$).

Une diminution des milieux forestiers est également constatée entre les dates 1 et 2 au sein des unités VME (Wilcoxon $p= 0.03461$), CMT (Wilcoxon $p= 0.04149$), PWO (Wilcoxon $p=0.02493$) et VSE (Wilcoxon $p= 0.02344$).

2) Structure

a) Territoire du Parc naturel régional de Lorraine

La fragmentation des milieux herbacés s'accroît entre les date 1 et 3 (5UP) (MESH, Wilcoxon $p=0.02615$). En revanche, celle des milieux forestiers s'atténue que ce soit entre les dates 1 et 2 (LSI Wilcoxon $p=0.00275$) ou entre les dates 1 et 3 (MESH, Student $p=0.00261$).

La connectivité des milieux forestiers augmente entre les dates 1 et 2 (CONNECT, Wilcoxon $p=0.00051$) ainsi qu'entre les dates 1 et 3 (CONNECT, Wilcoxon $p=0.04323$).

L'hétérogénéité du paysage décroît entre les dates 1 et 3 (SIDI, Wilcoxon $p=0.00212$).

L'analyse de l'indice de régularité montre des proportions plus équitables ente les classes à la date1 qu'à la date3. (SIEI Wilcoxon $p= 0.00535$).

b) Unités paysagères

La connectivité des milieux forestiers augmente entre les date 1 et 2 dans les unités VSE (CONNECT Wilcoxon $p= 0.03906$) et PET (CONNECT Wilcoxon $p=0.00592$).

La fragmentation de ces milieux progresse pour VME (MESH Wilcoxon $p= 0.03603$) alors qu'elle diminue pour CMT (LSI Wilcoxon $p=0.03231$), ceci entre les date 1 et 2.

Concernant l'évolution dates 1/date 3, VMO est sujet à une réduction de la fragmentation de ses milieux forestiers (LSI Student $p= 0.01630$) alors que celle de ses milieux herbacés s'amplifie (MESH Wilcoxon $p=0.02344$).

L'hétérogénéité du paysage s'intensifie significativement entre les date 1 et 2 pour VME (LSI Student $p= 0.03998$) et pour PWO (MESH Student $p= 0.0464$), alors qu'elle diminue pour CBK entre les dates 1 ET 3 (SIDI Wilcoxon $p= 0.01415$).

3) Comparaison des évolutions entre unités paysagères

Les comparaisons entre les différentes dates au sein de chaque unités paysagères ont été complétées par une analyse des différences d'évolution (date 2 moins date 1 ou date 3 moins date 1) entre les unités paysagères.

Cette analyse ne montre pas de différences significatives d'évolution entre les unités.

INTERPRETATION / DISCUSSION

I) Les résultats

1) Caractérisation à la date 1

a) Paysage du Parc naturel régional de Lorraine

Composés à plus de 90 % par les milieux forestiers, herbacés et les cultures, le parc présente un caractère rural avec peu de surfaces artificialisées.

Une étude menée par le CERPA sur le Parc entier (à partir des données Corine Land Cover utilisant une échelle de précision beaucoup plus grossière que la notre) présente des résultats cohérents avec ceux de notre étude basée sur un échantillon de paysage du Parc étudié finement. Ainsi, les données issues de notre étude et les données CLC sont comparables bien que les deux méthodes utilisent des échelles de précisions différentes.

La comparaison (tableau 8) entre notre analyse du paysage du PnrL à la date 1 (1999/2002) et les données Corine Land Cover (CLC) de 2000 (www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr) concernant la région Lorraine révèle que celui-ci est représentatif du paysage lorrain, avec des proportions d'occupation du sol proches de celles de la Lorraine.

Données CLC 2000	Forêts et milieux semi-naturels	prairies	cultures	vergers	surface en eau	Territoires artificialisés
Lorraine	38.34	20.57	34.89	0.56	0.64	5.56
Données stage date 1	Milieux forestiers	Milieux herbacés	cultures	vergers	milieux aquatiques	Milieux anthropiques
PnrL	34.95	23.28	33.55	0.55	2.01	5.68

Tableau 8 - Proportions des occupations du sol pour le PnrL (données issues du stage) et pour la Lorraine (données CLC 2000 révisées)

Le territoire du PnrL présente cependant des proportions de milieux aquatiques et de prairies plus importantes que celles de la Lorraine mais également de la France qui compte 0,70% de surface en eau et 15,95% de prairies (Union européenne SOeS CLC 2000 révisées). Ces milieux semi-naturels, abritant une faune et une flore variées, jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité (Duelli & al 2003) conférant au Parc un caractère naturel non négligeable.

La nécessité de protéger ces milieux est reconnue au niveau européen (Directive cadre sur l'Eau 2000/60/CE, Directive habitats Annexe 1) et international (Convention de Ramsar).

Le Parc abrite également des vergers, caractéristiques de la Lorraine (moyenne France =0.33%, CLC 2000 révisées) ce sont des refuges pour divers espèces, notamment d'oiseaux (chouette chevêche, torcol fourmilier, rouge-queue à front blanc) (Merlier D., 2001). Ils présentent une forte valeur patrimoniale (Merlier D., 2001) à préserver face aux problématiques actuelles d'enfrichement des vergers.

Les milieux forestiers sont très présents dans le Parc et comptent une part importante (76%) de forêts anciennes (ex : futaie séculaire du Romersberg) abritant des espèces (ex : Muguet) qui leur sont inféodées (Chauchard & al 2010). Leur préservation n'est donc pas à négliger d'autant plus qu'ils abritent des milieux originaux et peu courants tels les Vallons forestiers froids ou les Mardelles (Guide pour la préservation et la valorisation du patrimoine naturel et bâti dans les projets d'aménagements, PnrL).

Les cultures sont également un élément majeur du paysage. Abritant des espèces messicoles, elles participent au maintien de la biodiversité mais représentent aussi un risque concernant la modification du paysage liée à l'intensification de l'agriculture (Le Roux & al 2008). Les pratiques agricoles mises en œuvre au sein du Parc ont donc une importance particulière concernant la préservation du paysage.

Le territoire du Parc n'est pas moins artificialisé que celui de la Lorraine, il combine milieux anthropiques et naturels. Ce n'est pas seulement une zone de milieux à protéger mais également un cadre de vie pour la population (72 090 habitants).

L'enjeu est donc de concilier la préservation des milieux naturels et les activités humaines. Cela nécessite une gestion concertée et raisonnée que le PnrL s'applique à mettre en œuvre en collaboration avec l'ensemble des acteurs locaux.

Cette caractérisation globale du Parc peut être affinée en étudiant les unités paysagères qui le constituent.

b) Cohérence des unités paysagères

L'analyse des données à l'échelle des unités paysagères montre qu'il existe des différences de composition et de structure entre les unités :

La Vallée de la Meuse peut être qualifiée d'unité « agro-prairiale ». Elle est principalement composée de milieux herbacés peu fragmentés et de cultures. Les milieux forestiers sont peu présents. Elle a la particularité de présenter des proportions importantes de milieux anthropiques et de haies, probablement dues à sa nature même de vallée. En effet, la Meuse joue un rôle attractif sur la population et est bordées de nombreuses ripisylves.

Les Côtes de Meuse et de Toul peuvent être qualifiées d'unité « forestière-fruitière ».

Cette unité présente les milieux forestiers les plus abondants et les moins fragmentés, avec une connectivité plutôt élevée. Cela s'explique par un relief marqué, contraignant et défavorables aux cultures. De nombreux vergers sont cependant cultivés en bas de côtes, là où les pentes se font plus douces. Les milieux herbacés sont peu présents, mais plutôt bien connectés. Sa composition et sa structure font de CMT l'unité la moins hétérogène.

Le Plateau de Haye peut être qualifié d'unité « agro-forestière ». Il est principalement formé de cultures et de milieux forestiers (Forêt de Haye). Ces deux classes étant plutôt peu fragmentées et bien connectées. Les milieux herbacés peu présents sont très fragmentés.

La Vallée de la Moselle se différencie des deux autres vallées et peut être qualifiée d'unité « forestière-urbaine ». Située suivant l'axe urbain Nancy-Metz, elle est très fortement anthropisée et découpée par les voies de communication du « sillon lorrain ».

Ainsi, bien que la part des milieux forestiers soit importante, ceux-ci sont plutôt fragmentés et peu connectés. Les cultures sont peu nombreuses et très fragmentées.

Cette unité a également la particularité de présenter les plus fortes proportions de milieux aquatiques, de haies et de zones herbacées autres. Cela s'explique probablement par la présence de la Moselle et l'aménagement de ses rives (haies, bandes herbeuses) ainsi que par l'implantation de haies et de bandes herbeuses le long des grands axes de communication.

Sa composition et sa structure font d'elle l'unité la plus hétérogène.

La Plaine de la Woëvre, la Côte de Bride et Koeking, et le Pays des Etangs présentent des profils assez similaires et peuvent être qualifiés d'unités « mixtes », composés de milieux forestiers, herbacés et de cultures dans des proportions plus équitables que celles des autres unités paysagères. La fragmentation et la connectivité de ces classes présentent globalement des valeurs intermédiaires au sein des trois unités paysagères.

La principale particularité concerne le PET qui présente des proportions de milieux aquatiques non négligeables.

La vallée de la Seille offre un paysage rappelant celui de VME, elle peut également être qualifiée d'unité « agro-prairiale ». Elle est cependant beaucoup moins anthropisée que VME et présente donc un caractère plus rural. Cela est probablement lié à sa situation géographique, la zone est du PnrL dans laquelle se situe VSE étant globalement beaucoup moins anthropisée que la zone ouest (bassin d'emploi plus important) comprenant VME.

VSE est l'unité la plus cultivée et présente une part importante de milieux herbacés. Les milieux forestiers, peu présents, sont très fragmentés.

Cette analyse à l'échelle fine des unités paysagères, permet de leur attribuer chacune un profil montrant la variété des paysages du Parc. Ces données permettent d'apporter des précisions concernant les valeurs moyennes des classes d'occupation du sol calculées sur le territoire du Parc. En effet, certaines classes (milieux forestiers, cultures) se retrouvent au sein de plusieurs unités paysagères dans des proportions assez équitables, d'autres sont particulièrement concentrées sur une unité. C'est par exemple le cas des milieux anthropiques concentrés sur VMO. Malgré sa faible superficie cette unité parvient à faire augmenter la moyenne des milieux anthropiques du Parc de 2 points (moyenne anthropique du Parc = 5,68% ; moyenne anthropique du Parc hors VMO = 3,65%). Ainsi en dehors de VMO le Parc offre un caractère naturel important. Les différences de composition entre unités paysagères suggèrent que celles-ci présentent des problématiques de gestion différentes, par exemple plutôt tournées vers le milieu urbain et le développement foncier pour VMO, l'agriculture pour VSE, la sylviculture pour CMT.

Les profils détaillés des différentes unités paysagères établis par la présente étude semblent donc cohérents avec la délimitation « à priori » des unités paysagères définie par les experts du PnrL. Cela nous permet de répondre favorablement à l'objectif de validation, concernant la délimitation des unités paysagères, fixés par le PnrL dans le cahier des charges de notre étude. Par ailleurs, les travaux qualitatifs du CERPA sur la perception du paysage dans les différentes unités (François Laurent, communication personnelle) sont en accords avec les profils établis dans cette étude.

Le manque de résultats significatifs concernant la connectivité et l'hétérogénéité est lié à une trop grande variabilité au sein même des unités paysagères. Une échelle d'étude inférieure à

celle des unités paysagères permettrait probablement de montrer des différences significatives. Mais une analyse précise, telle que réalisée dans cette étude, à une échelle aussi fine demanderait des moyens considérables. Une solution consiste à cibler quelques éléments paysagers, ainsi une étude est en cours au service « Biodiversité et Milieux Naturels » du Parc sur la cartographie fine des corridors écologiques.

c) Paysage des zones Ordinaire et Natura 2000

L'analyse des données montre qu'il existe bien des différences entre zones Ordinaire et Natura 2000.

Les proportions de milieux forestiers, qu'ils s'agissent des arbres isolés, des haies, des friches arbustives ou des forêts sont plus importantes en zone Natura 2000.

Les milieux herbacés sont également plus présents avec une proportion de prairies deux fois plus importante qu'en zone Ordinaire. Tout comme les milieux aquatiques dont la proportion au sein de la zone Natura 2000 atteint plus du double de celle de la zone Ordinaire.

En revanche, la zone Natura 2000 est trois fois moins cultivée et quatre fois moins anthropisée que la zone Ordinaire.

Comme on pouvait s'y attendre les données révèlent une naturalité plus importante de la zone Natura 2000, occupée à 81,20% par les milieux forestiers et herbacés contre 54,17% pour la zone ordinaire. La présence en forte proportion d'éléments naturels et semi-naturels (arbres isolés, haies, prairies, milieux aquatiques) reconnus pour leurs rôles dans le maintien de la biodiversité justifie le statut de protection qui lui est attribué (art L. 414.1 à L. 414.7 du Code de l'Environnement). Avec 13% du territoire classé en zone Natura 2000, le PnrL confirme son caractère naturel au cœur de la Lorraine dont seulement 7% (DREAL Lorraine) du territoire est certifié Natura 2000. Il participe à la couverture Natura 2000 du territoire national certifié à hauteur de 12,4% (MEDDTL).

2) Suivi temporel

a) Evolution de la composition du paysage

Les profils d'évolution (augmentation ou diminution des différentes occupations du sol) concernant VME, CMT, PWO, VSE et VMO ne sont pas significativement mis en évidence au sein des autres unités paysagères. Cependant, bien qu'elles n'aient pas toutes montré d'évolutions statistiquement significatives, toutes les unités paysagères montrent des tendances d'évolution qui suivent un profil semblable. Par ailleurs ces profils sont caractéristiques du territoire du Parc lorsqu'il est étudié dans son ensemble.

Ainsi, les unités paysagères semblent évoluer de la même manière, cette évolution étant plus marquée dans cinq unités (VME, CMT, PWO, VMO et VSE) alors qu'elle est moindre dans les trois autres (PHA, CBK et PET). Cela peut s'expliquer par la localisation des unités, les évolutions ayant lieu principalement en zone ouest ou à proximité d'une rivière pour VSE. On peut émettre l'hypothèse que VSE, comme VME, montrera une anthropisation croissante, ceci sur un pas de temps plus long puisque son évolution semble plus lente. Par ailleurs, la tendance à l'anthropisation de VME laisse penser que son profil peut évoluer pour se rapprocher de celui de VMO.

Les principales évolutions de la composition du paysage du Parc concernent donc les milieux forestiers (diminution), herbacés (diminution) et anthropiques (augmentation). Les cultures restant stables, le territoire du PnrL ne semble pas soumis à l'intensification de l'emprise agricole (en terme de composition et structure). Ses profils d'évolutions se retrouvent au niveau lorrain (Bruno Desjardins, La Lorraine vue par CORINE Land Cover, INSEE). Il serait donc intéressant de compléter nos observations en quantifiant les évolutions au sein du PnrL (pourcentages de diminution, d'augmentation) afin de les comparer avec les pourcentages d'évolution de la Lorraine.

Le Parc menant de nombreuses actions préventives et de conseil auprès des collectivités locales, des professionnels et du grand public, on peut émettre l'hypothèse que les évolutions sont moins marquées au niveau du Parc qu'en Lorraine.

Concernant l'artificialisation du territoire, quasiment inévitable du fait de l'augmentation de la population, elle présente au delà de son aspect quantitatif, un aspect qualitatif très important. En effet, en respectant certaines règles (comblement des dents creuses, matériaux adaptés, respect du relief) l'implantation des nouvelles constructions peut s'intégrer dans le paysage et en conserver l'harmonie. Ainsi, les conseils des experts du paysage du PnrL, notamment au niveau des Plan Locaux d'Urbanisation (PLU) sont précieux pour conserver la cohérence des paysages du Parc.

Concernant les milieux herbacés, l'augmentation des zones herbacées autres semble valider, sur le territoire du PnrL, l'application des mesures européennes prises lors de la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) en 2003 et mise en place en France depuis 2005, concernant la création de bandes herbeuses (L. 216-1, L. 216-3 et L. 216-5 du code de l'environnement). On peut émettre l'hypothèse que cette évolution va tendre à se poursuivre, la réglementation concernant ces bandes ayant été renforcée en 2010 par les deux mesures "bande tampon" et "maintien des particularités topographiques".

De la même manière, afin d'enrayer la diminution des prairies, le ministère de l'Agriculture a adopté en 2010, une nouvelle norme concernant les Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE) de gestion des surfaces en herbe (Décret n° 2010-813 du 13 juillet 2010). Son efficacité n'est pas encore visible à l'échelle du Parc mais on peut penser qu'elle le sera d'ici quelques années.

Concernant un autre élément linéaire : les haies, la tendance était à la diminution entre la date 1 et la date 2, alors qu'elle est à l'augmentation entre la date 1 et la date 3. Il semble donc que les démarches de sensibilisation et les mesures de replantation mises en œuvre par le PnrL commencent à porter leurs fruits et on peut penser qu'elles seront détectées statistiquement dans quelques temps par l'Observatoire du paysage.

b) Evolution de la structure du paysage

Les changements de composition du paysage mentionnés précédemment s'accompagnent de changements de la structure de ces paysages.

On peut observer par endroits une diminution de la fragmentation des milieux forestiers. Cela pourrait être une évolution positive, mais en affinant l'analyse on constate que ce résultat est dû à la perte de nombreuses haies (patchs de forme complexe). Traduisant ainsi une diminution de la connectivité entre les patchs forestiers par disparition d'une partie des corridors écologiques ayant une importance majeure pour la biodiversité. Dans d'autres cas l'explication est moins certaine, la composition n'évoluant pas de manière significative, il est difficile de donner l'explication de ce phénomène. Il peut par exemple être la conséquence

d'une réduction des haies ou d'une progression du milieu forestier entre deux zones forestières.

Dans d'autres endroits, la fragmentation des milieux forestiers s'amplifie. Une analyse plus fine montre que cette observation est liée à la réduction des surfaces forestières aboutissant à la formation de patchs plus nombreux, de plus petites tailles ou de formes plus complexes. Ainsi, cet habitat important pour de nombreuses espèces de flore et de faune se morcèle.

On peut également constater une augmentation de la fragmentation des milieux herbacés. Cela peut être lié à la réduction de la surface des prairies et à leur morcellement mais une étude plus précise des indices montre que ce résultat apparaît du simple fait de l'apparition des bandes herbeuses (patchs plus nombreux, de formes plus complexes). Cela devrait se traduire à plus long terme par une augmentation de la connectivité de ce milieu.

Par ailleurs, certaines zones sont caractérisées par une augmentation de la connectivité des milieux forestiers. De manière plus précise, nous constatons, malgré la réduction de la surface de ces milieux, une amélioration de leur connectivité. Cela peut s'expliquer par la progression des haies suite aux mesures de replantations mises en œuvre par le PnrL ou par la disparition des patchs forestiers les plus isolés.

Dans d'autres cas, la diminution de la surface forestière est associée à une baisse de la fragmentation et une hausse de la connectivité. Cela traduit le passage d'une structure caractérisée par une surface forestières importante et morcelée à une structure caractérisée par une surface forestière plus faible mais plus compacte. La progression des haies et le comblement d'espaces entre deux zones forestières permet de diminuer la fragmentation et d'augmenter la connectivité, bien que cela ne compense pas la perte en surface liée à la disparition de certains patchs.

Plusieurs unités paysagères présentent un accroissement de l'hétérogénéité du paysage. Cela est lié à la réduction et à la fragmentation des surfaces forestières, le morcellement des patchs et la complexification de leur forme entraînent une hausse de l'hétérogénéité (patch plus nombreux, formes plus complexes).

Dans d'autres cas l'hétérogénéité diminue. Cela s'explique par des proportions d'occupation du sol qui deviennent moins équitables entre les classes, reflétant ainsi la progression de la dominance ou de la rareté de certaines classes selon la zone. Ce phénomène est le gage de la typicité des unités, une hétérogénéité très forte signifierait que chaque unité contient les mêmes proportions pour chacune des classes.

II) La méthode

1) Systèmes d'Informations géographiques et Orthophotographies

Les SIG sont couramment utilisés en écologie du paysage, ils permettent notamment le géoréférencement des zones étudiées afin de les localiser pour un éventuel suivi temporel. Les dates étudiées dans cette étude sont relativement récentes mais les SIG permettent par exemple de superposer d'anciennes cartes d'Etat-Major aux cartes actuelles (Dupouey 2007) permettant divers suivi sur des pas de temps beaucoup plus grands. Ces logiciels permettent entre autre de visualiser des orthophotographies. Celles-ci sont un support précieux pour l'analyse des paysages, particulièrement lorsqu'on veut étudier un paysage ancien. Cependant

la photo-interprétation n'est pas toujours évidente selon la résolution de l'image ou les conditions de luminosité lors de la prise de vue, et les vérifications sur le terrain sont impossibles concernant les orthophotographies prises à des dates passées.

Par ailleurs le principal problème rencontré concernant les OP est le changement de système de projection utilisé par l'IGN pour la campagne 2009 (passage du système NTF au système RGF93). Cela a nécessité la reprojection de l'ensemble des OP des campagnes précédentes dans ce nouveau système. Cependant celui-ci a été adopté comme système de référence légal (Décret 2000-1276) et ne devrait plus changer. Par rapport à l'ancien système (NTF), le système RGF93 comporte divers avantages tels sa compatibilité directe avec les mesures GPS améliorant la précision des données ou sa compatibilité avec les autres systèmes de projection européens facilitant ainsi les études transfrontalières (plaquette RGF93, IGN).

2) Stratégie d'échantillonnage

Les grandes différences de superficie entre les unités paysagères ou entre les zones Ordinaire et Natura 2000 sont à l'origine d'importantes différences en termes de pression d'échantillonnage.

Cependant l'étude réalisée cette année afin d'augmenter la taille et la pertinence de l'échantillonnage 2010 a permis d'adopter une stratégie réduisant les écarts de pression d'échantillonnage. Par exemple, ceux-ci étaient de 2,48% en zone Ordinaire et 5,27% en zone Natura 2000 l'an dernier, cette année ils sont respectivement de 3,51% et 4,52%.

Un échantillonnage strictement proportionnel à la surface augmenterait considérablement le nombre de carrés à étudier nécessitant un investissement financier et temporel plus important. Par ailleurs la stratégie adoptée cette année permet de mettre en évidence un nombre plus important de résultats significatifs. Afin de vérifier la robustesse de l'échantillonnage, il serait intéressant d'estimer le nombre minimum de carrés donnant les résultats les plus représentatifs du Parc, ceci en calculant l'imprécision des estimations en fonction du nombre de carrés échantillonnés par rapport aux données CLC de l'ensemble du Parc.

3) Typologie

La typologie retenue a pour objectif d'être suffisamment simple pour perdurer dans le temps et limiter les différences d'interprétations entre observateurs, tout en étant suffisamment détaillée pour couvrir les grands types d'occupation du sol.

Elle résulte également d'un compromis entre ce que le PnrL souhaite observer et les limites de la photo-interprétation. Par exemple, il n'est pas possible de déterminer le type de la culture observée (blé, maïs) ou de déterminer si une haie est mono ou pluri-spécifique.

Ainsi l'approche géographique et qualitative menée par le CERPA avec de nombreux déplacements sur le terrain est tout à fait complémentaire de notre étude.

Le nombre de classes est cohérent avec celui utilisé dans d'autres études (Germaine & al 2008). Les classes retenues correspondent selon leur précision au niveau 1, 2 ou 3 de la nomenclature Corine Land Cover (Union européenne – SoeS) ou présentent une précision plus importante pour les éléments non détectés par CLC (ex : arbres isolés, haies).

4) Indices

L'objectif est de décrire objectivement l'organisation spatiale du paysage indépendamment de toutes considérations écologiques liées aux espèces en présence. C'est pourquoi les caractères

fragmentés, connectés ou hétérogènes mentionnés dans cette étude concernent uniquement la structure spatiale, un milieu pouvant être connecté pour une espèce et pas pour une autre selon sa capacité de déplacement. Dans ce cas, on parlerait de connectivité fonctionnelle (Burel & al 1999) qui n'est pas l'objet de cette étude mais d'autres travaux en cours au PnrL (corridors écologiques).

Par ailleurs l'interprétation des indices de structure doit être faite avec précaution, chacun ayant une formule propre mesurant différents aspects d'un phénomène portant le même nom. Ils doivent donc être interprétés simultanément de manière à combiner leurs aspects complémentaires, mais également être associés à la proportion d'occupation du sol.

Soit l'exemple de résultat suivant:

- la proportion de milieux forestiers est plus importante dans l'unité A que dans l'unité B.
- selon MESH les milieux forestiers de l'unité A sont plus fragmentés que ceux de l'unité B.
- selon LSI les milieux forestiers de l'unité A sont moins fragmentés que ceux de l'unité B.

Cela signifie que l'unité A présente des patchs nombreux mais de forme compacte alors que l'unité B présente peu de patchs mais de forme complexe.

D'autre part, il est souvent mentionné que la fragmentation dépend également du degré d'isolement des patchs (Fahrig 2003), dans cette étude la notion d'isolement est mesurée à travers la connectivité indépendamment de la fragmentation. Il serait intéressant de créer un indice permettant à la fois de lier la surface, le nombre, la forme et l'isolement des patchs.

CONCLUSION / PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'établir un état des lieux du paysage aux alentours de l'année 2000 (date 1999/2002) et d'observer les premières évolutions sur 5 ans et partiellement sur 10 ans. Première étape concernant la création d'un Observatoire du paysage au sein du PnrL, l'objectif est de poursuivre ces observations tous les 5 ans afin de détecter les modifications du paysage et mettre en place si nécessaire les actions de gestion, de préservation, d'aménagement du territoire appropriées.

Par ailleurs, la caractérisation de quatre sous-unités paysagères (entité présentant des particularités très marquées au sein d'une unité paysagère, ex : Rupt-de-Mad, Vallons des Hauts de Meuse) est en projet. Dans cette optique nous avons pris soin de leur attribuer chacune 2 carrés lors de l'échantillonnage afin d'observer les premières caractéristiques. Le protocole d'échantillonnage et de traitement des données étant déjà suffisamment imposant cette année, les données seront traitées ultérieurement. L'objectif étant d'accroître le nombre de carrés situés dans ces zones afin de compléter l'échantillonnage mis en place.

Par ailleurs, de nombreuses études analysent et montrent les impacts de la composition et de la structure du paysage sur la biodiversité (Atauti & al 2001, Dormann & al 2007, Mazerolle & al 1999). Il semble donc intéressant de lier les données paysagères acquises durant cette étude à d'autres caractéristiques de biodiversité. Il est envisageable par exemple d'essayer de corréler les indices calculés (composition et structure) à des indices de diversité spécifique ou à tout autre trait concernant les espèces. Dans cet objectif, nous avons effectué des relevés floristiques dans les prairies des carrés échantillons, ces données seront analysées ultérieurement.

Ainsi, le travail effectué durant le stage pourra être mis à profit dans d'autres études, en apportant une base de données conséquente (rasters, vecteurs, indices) concernant le paysage du Parc naturel régional de Lorraine.

BIBLIOGRAPHIE

Aguilera F., Valenzuela L.M. et Botequilha-Leitã A., 2011, Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area.
Landscape and Urban Planning **99**: 226-238

Atauri J.A. & De Lucio J.V., 2001, The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes.
Landscape Ecology **16**: 147-159

Benedek Z., Nagy A., RÁCZ I.A., Jordán F. et Varga Z., 2011, Landscape metrics as indicators: Quantifying habitat network changes of a bush-cricket *Pholidoptera transsylvanica* in Hungary.
Ecological Indicators **11**: 930-933

Brunet-Vinck V., 2004, Méthode pour les Atlas de paysages Enseignements méthodologiques de 10 ans de travaux. Direction de la Nature et des Paysages, Paris, 127 p.

Burel F. et Baudry J., 1999, Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications.
Ed. TEC&DOC. 360p.

Chauchard S., Granier E. et Dupouey J.L., 2010, Cartes anciennes et ancienneté des forêts, des outils pour la gestion, Poster.

Dormann C.F., Schweiger O., Augenstein I., Bailey D., Billeter R., de Blust G., DeFilippi R., Frenzel M., Hendrickx F., Herzog F., Klotz S., Liira J., Maelfait J.P., Schmidt T., Speelmans M., van Wingerden W.K.R.E. et Zobel M., 2007, Effects of landscape structure and land-use intensity on similarity of plant and animal communities.
Global Ecol. Biogeogr. **16**: 774-787

Duelli P. et Obrist M.K., 2003, Regional biodiversity in an agricultural landscape: the contribution of seminatural habitat islands.
Basic Appl. Ecol. **4**: 129-138

Duelli P., 1997, Biodiversity evaluation in agricultural landscapes : An approach at two different scales.
Agriculture, Ecosystems and Environment **62**: 81-91

Dupouey J.L., Baquerou J., Cosserrat R., Aberdam S., Vallauri D., Chappart G. et Corvisier de Villèle M.A., 2007, Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. Le Monde des Cartes n° 191.

Fahrig L., 2003, Effects of habitat fragmentation on biodiversity.
Annu. Rev. Evol. Syst. **34**: 487-515

Germaine M.A. et Puissant A., 2008, Extraction d'indices paysagers et analyse quantitative des paysages de « vallées ordinaires » à partir de données images : L'exemple de la Seulles (Calvados, France).
Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, article 423

Haines-Young R.H., Barr C.J., Black H.I.J., Briggs D.J, Bunce R.G.H., Clarke R.T., Cooper A., Dawson F.H., Firbank L.G., Fuller R.M., Furse M.T., Gillespie M.K., Hill R., Hornung M., Howard D.C., McCann T., Morecroft M.D., Petit S., Sier A.R.J., Smart S.M., Smith G.M., Stott A.P., Stuart R.C. et Watkins J.W., 2000, Accounting for nature: assessing habitats in the UK countryside, DETR, London ISBN 1 85112 460 8

Imre A.R., Cseh D., Neteler M. et Rocchini D., 2011, Korcak dimension as novel indicator of landscape fragmentation and re-forestation.
Ecological Indicators **11**(5): 1134-1138

Hintermann U., Weber D., Zangger A., Schmill J., 2002, Monitoring de la biodiversité en Suisse. Mémoires de la Société Botanique de Genève **3** : 87-102

Jaeger J.A.G., 2000, Landscape division, splitting index, and effective mesh size : New measures of landscape fragmentation.
Landscape Ecology **15**(2): 115-130

Kadoya T. et Washitanib I., 2011, The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes.
Agriculture, Ecosystems and Environment **140**: 20-26

Mazerolle M.J. et Villard M.A., 1999, Patch characteristics and landscape context as predictors of species presence and abundance : A review.
Ecoscience **6**(1): 117-124

McGarigal K. et Marks B.J., 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p.

Morgan J.L. et Gergel S.E., 2010. Quantifying historic landscape heterogeneity from aerial photographs using object-based analysis.
Landscape Ecology **25**: 985-998

Mortelliti A., Amori G., Capizzi D., Cervone C., Fagiani S., Pollini B. et Boitani L., 2011, Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on the distribution of two arboreal rodents.
Journal of Applied Ecology **48**: 153-162

Lambert J., 2010, Mise en place d'une analyse paysagère à l'échelle du territoire préalable à la mise en révision de la charte du Parc naturel Régional de Lorraine, rapport de stage M2

Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., Roger-Estrade J., Sarthou J.P. et Trommetter M. (éditeurs), 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies.
Expertise scientifique collective, rapport, INRA (France) p100-115

Saura S., 2010, Measuring connectivity in habitat mosaics : the equivalence of two existing network indices and progress beyond them.
Community Ecology **11**(2) : 217-222

ANNEXES

ANNEXE 1 - Formules des indices utilisés :

Indice de composition

$P_i = a_i / A * 100$	P_i = proportion du paysage occupée par la classe i. a_i = surface (m ²) de la classe i. A = surface (m ²) totale du paysage.
-----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Indices de connectivité

$ENN_MN = (enn_{ij})_{moyen}$	enn_{ij} = distance entre le patch j de la classe i et le patch le plus proche issu de la même classe.
$CONNECT$ $= [\sum_{j \neq k}^n c_{ijk} / (n_i (n_i - 1) / 2)] * 100$	c_{ijk} = Jonction entre les patches j et k de la classe i (0= non joints , 1=joints) n_i = Nombre de patches de la classe étudiée.
$PROX_MN$ $= [\sum_1^n (a_{ijs} / h_{ijs}^2)]_{moyen}$	a_{ijs} = Surface (m ²) des patches s de classe i dans le rayon fixé autour du patch j de classe i. h_{ijs} = distance (m) entre les patches s situé dans le rayon fixé autour du patch j.

Indices de fragmentation

$LSI_{classe} = e_i / \min e_i$	e_i = Longueur de périmètre de la classe i. $\min e_i$ = Longueur minimale de périmètre de la classe i.
$MESH_{classe}$ $= (\sum_1^n a_{ij}^2 / A) * (1/10\ 000)$	a_{ij} = surface (m ²) des patches j de classe i. A = surface (m ²) totale du paysage.

Indices d'hétérogénéité

$SHDI = - \sum_1^n (P_i * \ln P_i)$	P_i = proportion du paysage occupée par la classe i.
$SIDI = 1 - \sum_1^n P_i^2$	P_i = proportion du paysage occupée par la classe i.
$LSI_{paysage} = E / \min E$	E = Longueur totale de périmètre dans le paysage $\min E$ = Longueur minimale de périmètre dans le paysage
$MESH_{paysage}$ $= \sum_1^n \sum_1^n a_{ij}^2 / A$	a_{ij} = surface (m ²) des patches j de la classe i. A = surface (m ²) totale du paysage.

ANNEXE 2 -Différences significatives concernant la composition à la date 1

UP	classes simplifiées détaillées	Anova p.value	Tukey p.adj	différences entre surfaces moyennes
CMT/VME	milieux forestiers	0.004919 **	0.0160353	CMT +48 ha
	forêt	0.003011 **	0.0128066	CMT + 50 ha
CMT/VSE	milieux forestiers	0.004919 **	0.0077647	CMT + 51 ha
	forêt	0.003011 **	0.007763	CMT + 48 ha
VME/CMT	milieux herbacés	0.0007439 ***	0.0107818	VME + 30 ha
	prairie	0.0004348 ***	0.0125494	VME +30 ha
VME/PHA	milieux herbacés	0.0007439 ***	0.0034434	VME + 35 ha
	prairie	0.0004348 ***	0.0032869	VME + 35 ha
PHA/VMO	cultures	0.0008333 ***	0.004756	PHA + 45 ha
PWO/VMO	cultures	0.0008333 ***	0.0266292	PWO + 39 ha
VSE/VMO	cultures	0.0008333 ***	0.0025853	VSE + 52 ha
VSE/PET	forêt	0.003011 **	0.0470814	PET + 34 ha
VSE/PHA	prairie	0.0004348 ***	0.0404534	VSE + 26 ha

Tableau 1 - Différences statistiquement significatives concernant les proportions des classes entre les unités paysagères à la date 1.

Zones	Classes simplifiées détaillées	Wilcoxon p.value	différences entre surfaces moyennes
Natura 2000 / Ordinaire	milieux herbacés	0.03271*	Natura 2000 +19 ha
	pra	0.04243*	Natura 2000 +19 ha
	cultures	0.008727**	Ordinaire +24 ha
	milieux aquatiques	0.0007046***	Natura 2000 +2 ha
	milieux forestiers		
	arb	0.02878*	Natura 2000 +0.08 ha
	milieux anthropiques		
	jar	0.04909*	Ordinaire +2 ha

Tableau 2 - Différences statistiquement significatives concernant les proportions des classes entre les zones Ordinaire et Natura 2000 à la date 1.

Résumé

Dans le cadre de la révision de sa charte, le Parc naturel régional de Lorraine a confié au Laboratoire Agronomie et Environnement la mise en place d'une étude paysagère faisant l'objet de ce stage. La caractérisation de l'évolution spatio-temporelle du paysage du Parc sur un pas de temps de dix ans est basée sur l'analyse d'orthophotographies par l'intermédiaire des Systèmes d'Informations Géographiques. Les SIG permettent de calculer des indices de composition et de structure du paysage qui sont ensuite traités statistiquement. Ces données permettent d'établir dans un premier temps le profil du Parc, puis à une échelle plus fine celui des zones Natura 2000, « Ordinaire » et des unités paysagères prédéfinies par les experts du Parc. A partir de ce profil initial, l'évolution des unités paysagères est étudiée sur des pas de temps de 5 et 10 ans. La méthodologie mise en œuvre peut encore être perfectionnée, toutefois son aspect reproductible et la bonne couverture du territoire sont des atouts majeurs à conserver. Cette étude a vocation à être poursuivie tous les cinq ans de manière à constituer un observatoire du paysage à long terme et à être enrichie par des liens entre paysage et biodiversité.