

UNIVERSITE DU BURUNDI



Faculté des Sciences

Deuxième année Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'environnement – Option Génie de l'Environnement
& Deuxième année Master en Biologie des Organismes et Ecologie - Option Ecosystèmes Terrestres

SUPPORT DE COURS « QUESTIONS APPROFONDIES ECOLOGIE DU PAYSAGE »

Par

Prof. NDUWIMANA André

Edition 2025

45 H

Table des matières

I.	INTRODUCTION.....	6
1.	Ecologie.....	6
2.	Paysage.....	6
II.	HISTORIQUE ET DEFINITION DE L'ÉCOLOGIE DU PAYSAGE.....	12
1.	Historique.....	12
2.	Définitions.....	14
3.	Théories scientifiques et écologie du paysage.....	14
4.	Approches écologiques des paysages.....	16
5.	Le niveau paysage et les approches écologiques classiques.....	16
6.	Méthodes scientifiques de l'écologie du paysage.....	17
III.	RAPPEL DES PRINCIPAUX CONCEPTS PAYSAGERS.....	18
1.	Structure d'un paysage.....	18
2.	Echelle d'un paysage.....	22
3.	Dynamique des paysages.....	24
4.	La naturalité.....	24
IV.	QUANTIFICATION DE LA STRUCTURE SPATIALE DES PAYSAGES.....	25
1.	Métriques paysagères en rapport avec la surface.....	26
2.	Indices pour mesurer la composition.....	26
3.	Indices de nombre.....	26
4.	Indices de forme.....	26
V.	DYNAMIQUE PAYSAGERE ET MATRICE DE TRANSITION.....	28
1.	Dynamique paysagère.....	28
2.	Méthodologie utilisée pour acquérir les données :.....	28
3.	Diagramme de transition.....	29
VI.	FRAGMENTATION DES PAYSAGES ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE.....	31
1.	La fragmentation.....	31
2.	La conservation de la biodiversité.....	35
3.	Evolution des approches de conservation de la biodiversité.....	38
VII.	MESURES DE L'ANTHROPISATION DES PAYSAGES.....	46
1.	Généralités sur l'anthropisation des paysages.....	46
2.	Modélisation.....	46

Liste des Figures

Figure 1:	Le paysage comme niveau intermédiaire entre Ecosystème et Région.....	7
Figure 2:	Photo de paysage de montagne suisse (https://fr.motocrossmag.be/index.php/2015/08).....	7
Figure 3:	Littoral du lac Rweru au nord du Burundi.....	8
Figure 4:	Photos de paysage rizicole de plaine dans l'imbo.....	8
Figure 5:	Photo paysage fluvial (https://fr.freepik.com/photos-gratuite).....	8
Figure 6 :	Différents faciès du paysage de la Malagarazi.....	9
Figure 7:	Photo exemple de paysage industriel.....	9
Figure 8:	Photo de paysage forestier tropical (https://fr.123rf.com/photo_17806452_tropical-paysage-forêt-tropicale-luxuriante-dans-pangmapha-thaïlande.html).....	10
Figure 9:	Photos Paysage agricole (http://www.sebastienchampion.fr/media).....	10
Figure 10:	Marais au niveau paysage de Malagarazi.....	10
Figure 11:	Modèle paysager de Berg (Florova, 2000).....	12
Figure 12:	Facteurs contrôlant la flore des haies vives à différentes échelles d'espace et de temps (Burel & Baudry, 1999).....	15
Figure 13:	Structure paysagère sud Bourgogne (http://www.ausb.org/fileadmin/user_upload/mediatheque).....	19
Figure 14:	Éléments de base de la structure d'un paysage.....	20
Figure 15:	Quatre représentations d'un même paysage : Cazevieuille, Hérault (Deconchat et Sirami, 2017).....	20
Figure 16:	Exemple de matrices et taches de même structure mais des réalités différentes.....	21

Figure 17: Composants de l'hétérogénéité. De a à c, l'hétérogénéité augmente avec le changement de la proportion et du nombre d'éléments. De d à f, il augmente en fonction de la variation de la distribution spatiale (Burel & Baudry, 1999, p.79)	21
Figure 18 : Classification des images du paysage aux trois dates (matrice de confusion et Kappa)	29
Figure 19: Evolution de l'occupation / Utilisation des Sols du paysage de la Malagarazi (1986, 2001, 2013).....	29
Figure 20: Diagramme de transition de l'occupation du sol 1986-2001	29
Figure 21: Evolution des formes d'occupation du sol du paysage de la Malagarazi de 1986 -2001, de 2001-2013, de 1986-2013.....	30
Figure 22: Schématisation des du processus de transformation spatiale (voir Bogaert et al., 2004).....	32
Figure 23: Identification du processus de transformation spatiale. Modèle inspiré de l'arbre de décision de Bogaert et al. (2004). n1986, a1986, p1986 et n2000, a2000, p2000 sont respectivement le nombre, l'aire et le périmètre des taches en 1986 et en 2000. Pour séparer les processus de fragmentation et de dissection, $tobs = a2000/a1986$ est calculé et comparé à une valeur prédéfinie ($t = 0,5$; Barima, 2007). Le processus dominant est la fragmentation si $tobs < t$ et dans le cas contraire le processus est la dissection (Barima et al, 2009)	32
Figure 24: Points chauds de la biodiversité définis par International Conservation : en vert 25 points chauds définis dès l'année 2000 (Myers et al., 2000), en bleu ceux ajoutés par la suite (Mittermeier et al.,2004).....	37
Figure 25: Facteurs d'extinction.....	41
Figure 26: Avantages comparatifs grandes réserves et petites réserves	41
Figure 27: Structure d'une réserve de biosphère (source : Réseau Mondial des Réserves de Biosphère, 2010).....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Catégories d'aires protégées (IUCN, 1994) et principales caractéristiques	40
--	----

DESCRIPTIF DU COURS

Objectif général : Décrire le fonctionnement des écosystèmes et en évaluer la dynamique

Le présent cours vise à doter l'étudiant des compétences lui permettant :

- ✓ D'établir et expliquer le lien entre les modèles de paysage et les processus écologiques à grande échelle spatiale (paysage)
- ✓ De calculer les indices de structure spatiale des paysages
- ✓ De faire une analyse qualitative et quantitative de la dynamique paysagère
- ✓ D'Identifier les causes de la dynamique paysagère à l'aide de la matrice de transition
- ✓ De prédire l'évolution spatiale des écosystèmes et des paysages

Prérequis : Ecologie Générale, SIG et télédétection

Objectif de l'enseignement:

- ✓ Décrire la composition et la configuration d'un paysage
- ✓ Expliquer les indices de structure spatiale des paysages
- ✓ Présenter les méthodes d'analyse de la dynamique spatiale des paysages
- ✓ Discuter des causes de la dynamique paysagère
- ✓ Décrire la dynamique spatiale des écosystèmes et des paysages

Méthode d'enseignement:

Cours magistral, Travaux dirigés, Travaux de terrain

Contenu :

- ✓ Concepts paysagers,
- ✓ Indices de mesure de la structure spatiale des paysages
- ✓ Fragmentation des paysages et conservation : débat SLOSS,
- ✓ détermination de la matrice de transition,
- ✓ mesure de l'anthropisation des paysages,
- ✓ modélisation de la dynamique paysagère : modèles de Markov.

Mode d'évaluation:

Examen écrit et/ou oral (60%). Travaux en cours d'année (40%)

Résultats d'apprentissage:

A la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- ✓ Reconnaître la composition et la configuration d'un paysage;
- ✓ Calculer les indices spatiaux des paysages;
- ✓ Faire une analyse qualitative et quantitative de la dynamique spatiale des paysages
- ✓ Identifier les causes de la dynamique paysagère à l'aide de la matrice de transition
- ✓ Prédire la dynamique spatiale des écosystèmes et des paysages

Références bibliographiques :

- ✓ Barima Y.S.S. , Barbier N., Bamba I., Traore D., Lejoly J., Bogaert, J.(2009) Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 2009, N° 299 (1) 15 Télédétection Et Espaces Forestiers
- ✓ Bogaert J., Ceulemans R., Salvador-Van Eysenrode D., 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*, 33 (1) : 62-73.
- ✓ Burel F. & Baudry J. (1999). *Landscape ecology. Concepts, Methods and Applications*. Science Publishers, Inc./USA, 378 p
- ✓ Florova M.(2000). Le paysage des géographes russes : l'évolution du regard géographique entre le XIX^e et le XX^e siècle, *Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Epistémologie, Histoire de la Géographie, Didactique*, document 143, mis en ligne le 16 novembre 2000, consulté le 11 février 2019.
- ✓ Forman, R. T. T., (1995). *Land mosaics: the ecology of landscape and region*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✓ Forman, R.T.T., Godron, M., (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Son, New York.
- ✓ Fortin, M.-J., Dale, M., (2005). *Spatial Analysis: a guide for ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✓ Gergel, S. E., Turner, M. G., (2002). *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer, New York.
- ✓ Haines-Young R., Green D.R., Cousins S.H. (1993). *Landscape ecology and Geographic Information Systems*. Taylor& Francis LTD, London, 329 p
- ✓ Nduwimana A. (2014). *Caractérisation du Paysage Naturel de la Malagarazi (Burundi) et approche de Conservation Durable de sa Biodiversité*. Thèse pour obtenir le grade de Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle-CRS/ Paris.266p.

I. INTRODUCTION

L'Écologie du paysage est une expression voir un concept dont la compréhension pose comme préalable celle des termes « Écologie » et « Paysage » qui constituent un socle de cette expression.

1. Écologie

Le terme « 'écologie », proposé en 1866 par le biologiste allemand Haeckel, désigne l'étude des relations des êtres vivants avec leur environnement et des interactions qui existent entre les êtres vivants. L'écologie cherche donc à établir les lois qui régissent non seulement les relations entre les êtres vivants et leurs environnements physicochimiques, mais également les relations qui se développent entre les organismes.

Au fil du temps, les objets d'étude écologique sont devenus de plus en plus complexes, de l'individu au paysage, en relation avec le développement des sciences et des technologies.

L'écologie a donc progressivement étendu ses objets scientifiques et son champ d'investigation passant de :

- ✓ Des 'individus : **L'autécologie** qui est l'étude des relations entre les individus et l'environnement dans lequel ils vivent
- ✓ Aux populations d'individus : la **Démo écologie** qui étudie les relations entre une population d'individus d'une même espèce avec leur environnement et les fluctuations dans le temps du nombre d'individus au sein d'une population d'êtres vivants)
- ✓ Aux communautés : la **synécologie** est l'étude des relations des communautés entre elles et avec le milieu ; la **syngénétique** est l'étude de la naissance, du développement et du déclin des communautés végétales ; la **synchorologie** est l'étude de l'occurrence et de la distribution des communautés.
- ✓ Aux différents écosystèmes : Ecologie systémique qui étudie la multitude des interactions complexes entre les éléments de l'écosystème essentiellement sous forme de flux d'énergie et de matière.

2. Paysage

Au sens originel du terme, paysage désigne une portion d'un pays, une partie du territoire comme lieu de vie ou de travail pour les habitants de cette partie du pays.

« Le paysage est une surface hétérogène, constituée par un ensemble d'écosystèmes qui se répètent

(souvent mais pas toujours) ça et là sous des formes identiques et qui sont en interaction.

Mais le concept de paysage a évolué dans le temps pour prendre en considération les représentations que les humains font du territoire. Le paysage devient donc une expression et une condition du vivant évoluant dans le temps et dans l'espace (objet de contemplation qui oriente vers l'esthétique, aménagement du territoire, Quid le rôle du développement économique sur la pensée paysagère, quid l'appréciation de la campagne et du milieu urbain.)

Sous l'angle écologique, le paysage est un niveau d'organisation des systèmes écologiques, supérieur à l'écosystème certes, mais inférieur à la planète, au continent et à la région, niveau

caractérisé par son hétérogénéité et par une dynamique que gouvernent les activités humaines, et indépendant de sa perception. (Forman, 1995 ; Burel & Baudry, 1999 ; Chouquer, 2004)

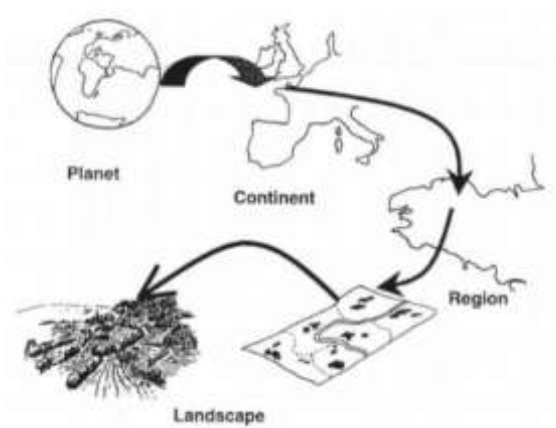


Figure 1: Le paysage comme niveau intermédiaire entre Ecosystème et Région

Le paysage comme un des principaux concepts de la géographie est considéré comme le produit de la nature et des activités humaines (Quid le rôle des activités des sociétés humaines dans le modelage de la surface de la terre pour ses besoins d'habitat, circulation, alimentation à côté du rôle de la nature comme l'action des mouvements tectoniques, érosifs, hydrologiques, etc.). Il lie donc la structure à la fonction.

On peut alors distinguer plusieurs types de paysages :

a) Paysages classés suivant le critère géographique :

- Paysages de montagne,



Figure 2: Photo de paysage de montagne suisse (<https://fr.motocrossmag.be/index.php/2015/08>)

- Paysage du littoral,



Figure 3: Littoral du lac Rweru au nord du Burundi

- Paysage de plaine



Figure 4: Photos de paysage rizicole de plaine dans l'imbo

-



Figure 5: Photo paysage fluvial (<https://fr.freepik.com/photos-gratuite>)

b) Paysages classés suivant l'impact des activités humaines (paysage naturel, paysage sémi-naturel, paysage dégradé, etc



Figure 6 : Différents faciès du paysage de la Malagarazi

C Paysages classés suivant l'occupation du sol :

- Paysage industriel,



Figure 7: Photo exemple de paysage industriel

- Paysage de forêt,



Figure 8: Photo de paysage forestier tropical (https://fr.123rf.com/photo_17806452_tropical-paysage-forêt-tropicale-luxuriante-dans-pangmapha-thaïlande.html)

- Paysage agricole,



Figure 9: Photos Paysage agricole (<http://www.sebastienchampion.fr/media>)

- Paysage de marais,



Figure 10: Marais au niveau paysage de Malagarazi

Etc.

On retiendra pour le paysage que c'est un **espace hétérogène**, résultant de la conjonction évolutive des facteurs environnementaux, sociaux, culturels et économiques mais **perçu de manière unitaire et distincte de ses voisins**

En combinant les deux, on allie dans une même science pluridisciplinaire appelée « Ecologie du paysage » :

- ✓ l'action des naturalistes qui consistait à inventorier et classer les espèces ;
- ✓ l'approche fonctionnelle mathématique et fonctionnelle qui s'est précisée dans l'écologie en mettant en exergue l'importance des relations prédateurs- proies, au sein de niches écologiques ; une écologie des systèmes et des écosystèmes, très mathématique et qui intègre les stocks, transferts et flux d'énergie aux échelles biogéographiques ;
- ✓ l'intégration de l'homme et de l'impact croissants des activités humaines,
- ✓ l'analyse des causes et conséquences de l'hétérogénéité et dynamique spatio-temporelle des composantes biologiques, physiques et sociales des paysages humanisés et/ou naturels

Selon l'Association Internationale de l'Ecologie du paysage (IALE : International Association of Landscape Ecology) fondée en 1983, les principaux sujets d'intérêt de l'écologie du paysage sont :

- ✓ la répartition spatiale et la structure des paysages, allant de la nature sauvage aux milieux urbains et anthropisés
- ✓ la relation entre structure et processus à toutes les échelles paysagères ;
- ✓ la relation entre activité humaine et structure du paysage, le processus et le changement ;
- ✓ les *effets d'échelle* et les effets (positifs ou négatifs) des perturbations (anthropiques ou naturelles) sur le paysage.

II. HISTORIQUE ET DEFINITION DE L'ÉCOLOGIE DU PAYSAGE

1. Historique

On peut dire que les racines de l'écologie du paysage commencent au milieu du XIXe siècle avec l'introduction du terme «paysage» en tant que terme scientifique par le géographe explorateur Alexander Von Humboldt (Naveh et Lieberman, 1993). Humboldt considérait les paysages comme présentant une cohérence dans la distribution spatiale et l'interdépendance des phénomènes et était un pionnier dans l'étude des relations spatiales entre les phénomènes biologiques et physiques.

Siegfried Passarge, géographe allemand, a proposé la «science du paysage» comme nouveau sous-champ de la géographie en 1919 (Troll 1971). Le cadre de Passarge pour la science du paysage a été adopté et élargi par une série de géographes russes.

L.S. Berg a décrit un paysage comme «une communauté d'un ordre supérieur, composée de communautés d'organismes... ainsi que du complexe de phénomènes inorganiques»

Berg définit le paysage comme une région dans laquelle les particularités du relief, du climat, des eaux, du sol, de la végétation et de l'activité de l'homme sont organisées en un ensemble géographique harmonieux, selon un mode qui peut se répéter à l'intérieur d'une même zone géographique

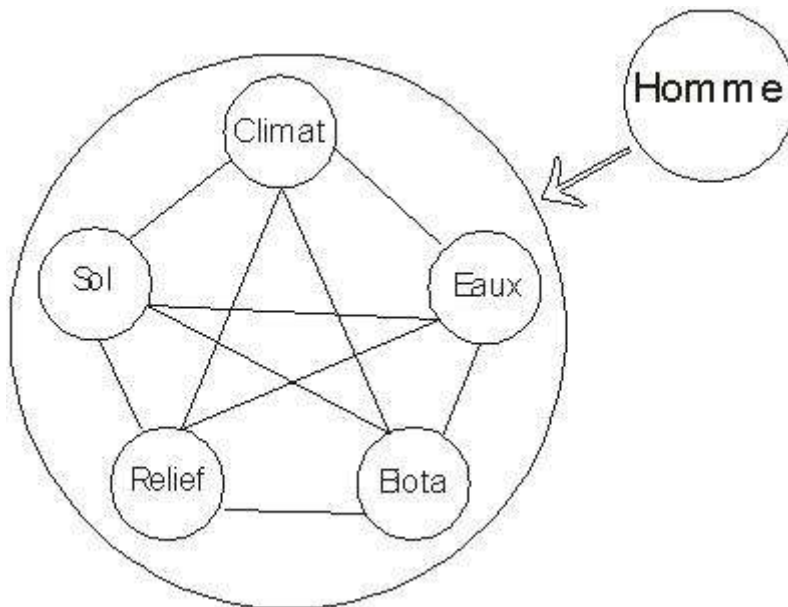


Figure 11: Modèle paysager de Berg (Florova, 2000)

En 1935, A.G. Tansley a proposé pour la première fois le concept scientifique de l'écosystème. Cela a incité le géographe allemand Carl Troll à faire avancer le terme «écologie du paysage» en 1939.

Troll a décrit l'écologie du paysage comme «l'étude des principales relations de causalité complexes entre les communautés de la vie et leur environnement dans une section donnée du

paysage». L'objectif initial de Troll était de montrer les distributions écologiques au sein des paysages.

Le développement de l'écologie du paysage a été cosmopolite en empruntant les perspectives de nombreuses sous-disciplines biologiques et géographiques et en héritant de traditions distinctes originaires d'Europe, de Russie et des États-Unis (Forman et Godron, 1986; Naveh et Lieberman, 1993).

Traditionnellement, les sciences écologiques se sont largement limitées à l'étude des relations entre la structure et la fonction des entités supposées homogène spatialement et stables dans le temps (Pickett et Cadenasso, 1995).

En revanche, l'écologie du paysage considère l'hétérogénéité spatiale comme un facteur de causalité primordial dans les interactions écologiques.

Les efforts russes et allemands en matière de science du paysage et d'écologie du paysage ont été au départ axés sur les modèles continus de variabilité environnementale et les processus de population continus

Après la Seconde Guerre mondiale, l'écologie du paysage est devenue une discipline quasi indépendante en Union soviétique et dans plusieurs pays d'Europe centrale.

Dans les années 1960, l'Institut des soins et de la protection de la nature de l'Université technique de Hanovre a apporté une contribution importante aux méthodes d'utilisation de l'écologie du paysage en tant qu'outil de gestion et de planification du paysage.

Alors qu'en Europe l'écologie du paysage développait des techniques puissantes pour la description et l'analyse de la structure physique des mosaïques de paysages, les scientifiques américains suivaient un chemin différent

À la fin du XIXe siècle, les écologistes américains ont commencé à s'intéresser pour la première fois à une étude rigoureuse des communautés d'organismes vivants.

Forbes a proposé l'idée d'une communauté écologique en tant que complexe organique d'entités mutuellement interdépendantes et s'est concentré sur la manière dont un «équilibre de la nature» était maintenu par la compétition entre espèces pour des ressources limitées.

L'approche communautaire était très perspicace, mais supposait que les communautés fonctionnaient comme des unités homogènes isolées des systèmes écologiques environnants.

Au début du XXe siècle, les écologistes américains commençaient à établir des liens entre la structure du paysage et le fonctionnement de la communauté. Pourtant, le développement d'une science véritablement au niveau du paysage était encore loin derrière celui des chercheurs européens. On peut considérer que ce que l'on pense couramment de l'écologie moderne du paysage a commencé aux États-Unis avec les travaux de nombreux écologistes des années 1950 et 1960 (Forman et Godron, 1986). Dansereau (1957) a mis au point un système de classification des éléments du paysage fondé sur les niveaux de transfert d'énergie

tropicaux et a soutenu que l'unité de paysage était le niveau le plus élevé dans la hiérarchie de la structure écologique.

Forman (1981) et Forman et Godron (1981) ont été les premiers à mettre officiellement en avant la conception moderne de la structure du paysage composée d'une mosaïque de taches dans une matrice. L'écologie moderne des paysages est basée sur le paradigme de la mosaïque de taches, dans lequel les paysages sont conceptualisés et analysés comme des mosaïques de taches distinctes. il existe de nombreuses preuves qu'il s'applique très bien à des paysages dominés par de graves perturbations naturelles ou anthropiques (par exemple, des paysages dominés par le feu et des paysages bâtis).

2. Définitions

Diverses définitions de l'écologie du paysage se fondent sur le principe que l'hétérogénéité perçue à un moment donné, dans un lieu donné, résulte de l'hétérogénéité spatio-temporelle des contraintes environnementales, des processus écologiques et des perturbations d'origine humaine ou naturelle

- L'écologie du paysage est l'étude de la structure, de la fonction et de la gestion de vastes étendues de terres hétérogènes (Forman, 1995)
- l'étude de la structure et des processus spatiaux (Turner, 1989, 2005).

Forman et Godron (1981) définissent l'objectif de l'écologie du paysage comme étant de montrer comment des processus à différentes échelles interagissent pour façonner des phénomènes écologiques et mettre en lumière des régularités présentant un large potentiel explicatif».

Ils identifient les principaux domaines d'investigation de l'écologie du paysage en tant qu'étude des schémas de répartition des éléments du paysage, des flux d'unités matérielles, biologiques ou énergétiques entre les éléments et de la dynamique de la morphologie du paysage,

3. Théories scientifiques et écologie du paysage

Les principales théories sur lesquelles sont fondées les études d'écologie du paysage sont (i) la théorie de la hiérarchie (Allen et Starr, 1982), (ii) la théorie du chaos (Gleick, 1991) et la géométrie fractale associée (Mandelbrot, 1984), (iii) la théorie de la percolation.

L'analyse spatiale et temporelle des systèmes écologiques repose sur (iv) la théorie biogéographique de l'île (MacArthur et Wilson, 1967) et (v) la théorie de la perturbation (Pickett et White, 1985).

3.1. Théorie de la hiérarchie

La théorie de la hiérarchie est un cadre conceptuel approprié pour traiter des ensembles de phénomènes se produisant à plusieurs échelles d'espace et de temps :

Il existe une corrélation entre les échelles de temps et d'espace. Les phénomènes qui surviennent sur une grande surface sont plus lents que ceux qui surviennent sur une petite surface

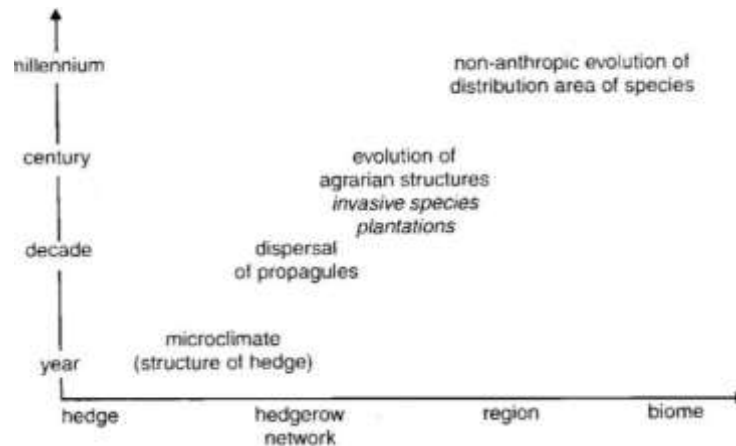


Figure 12: Facteurs contrôlant la flore des haies vives à différentes échelles d'espace et de temps (Burel & Baudry, 1999)

Les niveaux d'organisation sont essentiellement caractérisés par des vitesses de fonctionnement de phénomènes, et des phénomènes ayant des vitesses de fonctionnement très différentes interagissent peu

La théorie de la hiérarchie prédit qu'il n'y a pas de continuum d'échelles mais plutôt un certain nombre de niveaux distincts.

3.2. La théorie du chaos

La théorie du chaos étudie le comportement des systèmes dynamiques très sensibles aux conditions initiales, un phénomène généralement illustré par l'effet papillon.

Le comportement chaotique est à la base de nombreux systèmes naturels, tels que la météo ou le climat.

En effet la théorie du chaos prédit que, dans les phénomènes sensibles aux conditions initiales, la dynamique complexe peut être le résultat de processus simples et déterministes

3.3. La théorie de la percolation

La percolation a pour caractéristique d'être un phénomène critique: au-dessous d'un seuil, une information ou un individu reste confiné dans la petite île dans laquelle il a été créé. Dès que le seuil est franchi, l'information "s'infiltrer" et se trouve loin de son point de départ

3.4. La théorie de la géométrie fractale

La géométrie fractale est utilisée pour mesurer des objets complexes dont les dimensions sont en fractions et non en nombres entiers. La dimension fractale est un nombre qui sert à quantifier le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un ensemble géométrique ou d'un objet naturel.

3.5. La théorie de la biogéographie Insulaire

Elle est dite d'équilibre dynamique et prédit la richesse en espèces sur chaque île est fonction de paramètres spatiaux: la superficie de l'île et sa distance du continent.

3.6. La théorie de la perturbation.

La perturbation est un phénomène universel dans les systèmes écologiques et est à la base de l'hétérogénéité des paysages. Les perturbations peuvent se caractériser par le régime (les contraintes) mais également par la dynamique des taches

4. Approches écologiques des paysages

L'écologie du paysage est un nouveau champ de recherche en écologie qui s'est développé depuis les années 1980 comme science qui décrit et cherche à expliquer :

- (i) la structure des paysages (composition et configuration)
- (ii) Le fonctionnement des paysages (processus comme les interactions au sein du paysage)
- (iii) Les qualités écologiques, économiques et sociales d'un paysage
- (iv) La dynamique des paysages (Evolution dans le temps et dans l'espace)

Les approches écologiques des paysages sont actuellement popularisées particulièrement auprès des acteurs des politiques de la conservation de la biodiversité.

5. Le niveau paysage et les approches écologiques classiques

Le niveau paysage est en cohérence avec :

- ✓ L'approche « espèce-centrée » : en lien avec la niche écologique (le paysage considéré comme habitats d'espèces)

La niche fondamentale représente l'entièreté des possibilités de présence d'une espèce définie par les variables environnementales. Cependant, du fait des interactions entre espèces (compétition par exemple), l'espèce peut être exclue de certaines parties de la niche fondamentale. La niche résultante est alors appelé la niche réalisée. ;

- ✓ L'approche « communauté-centrée » : en lien avec la végétation dans le cadre de la phytosociologie (paysage considéré comme habitat « naturel » surtout la phytosociologie paysagère(Symphytosociologie) ;
- ✓ L'approche « anthropocentrée » : en lien avec les modes d'usages des sols (paysage considéré comme grand territoire intégrant les activités de l'homme).

6. Méthodes scientifiques de l'écologie du paysage

L'écologie du paysage étant une science pluridisciplinaire, plusieurs méthodes scientifiques peuvent être utilisées en fonction de l'objectif.

Ces méthodes comprennent les techniques d'observation et d'échantillonnage, la télédétection, les méthodes statistiques, les SIG, la modélisation, etc.

III. RAPPEL DES PRINCIPAUX CONCEPTS PAYSAGERS

Il existe au niveau des paysages une interaction entre la composition, la structure et la fonction.

1. Structure d'un paysage

La structure du paysage exprime le schéma spatial des éléments du paysage et les connexions entre les différents écosystèmes ou éléments du paysage. La structure du paysage évalue

la relation entre les écosystèmes en terme de mesure, nombre, taille et forme (Forman et Godron 1986; Gergel et Turner 2002).

La structure d'un paysage est caractérisée par sa composition (éléments présents et leur proportion) et par la configuration (distribution et arrangement des unités dans l'espace). Ces caractéristiques déterminent les processus écologiques à l'échelle du paysage.

L'unité paysagère correspond à un ensemble de composants spatiaux, de perceptions sociales et de dynamiques paysagères qui, par leurs caractères, procurent une singularité à la partie de territoire concernée.

L'élément de paysage est un objet matériel qui ne peut pas être considéré comme un système du point de vue paysager mais qui a des caractéristiques paysagères. Les éléments de paysage peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- relief : plateau, colline...
 - végétation : arbre isolé, haie, bois...

 - occupation agricole : prairie, verger, culture...
 - bâtiments et infrastructures : villages, fermes, routes, ponts...
 - hydrographie : rivière, lac...
 - vues : panorama, co-visibilité, perspective...
-
- ✓ l'élément permanent qui est inamovible et à partir duquel les autres éléments de paysage s'agrègent et se conjuguent pour composer la structure, créer une ambiance, une image paysagère... Sans lui, la structure n'existerait pas ou serait différente.

 - ✓ l'élément fluctuant qui peut subir une évolution anthropique ou naturelle selon les dynamiques et en fonction des objectifs (orientations) assignés au territoire.



Figure 13: Structure paysagère sud Bourgogne (http://www.ausb.org/fileadmin/user_upload/mediatheque)

1.1. Des termes sont essentiellement utilisés en Ecologie du paysage pour mettre en évidence la structure :

Taches (Patches): zones non linéaires (polygone) moins abondantes et différentes de la matrice.

Corridor: un type linéaire ou de forme allongée qui relie d'autres éléments dans la matrice.

Matrice: Surface constituant l'élément dominant et interconnecté dans laquelle baignent les tâches et les corridors. Souvent, la matrice est forêt ou agriculture, mais théoriquement cela peut être n'importe quelle couverture du sol

Mosaïque: une collection de tâches dont aucune n'est assez dominante pour être interconnectée à travers le paysage.

Les principales caractéristiques structurelles du paysage sont donc les Taches, les corridors, les réseaux et la matrice (Forman et Godron, 1986)

Les corridors (couloirs) ont quatre fonctions importantes :

- ✓ un habitat pour certaines espèces,
- ✓ une zone de déplacement pour les espèces,
- ✓ une zone de barrière ou de filtre,
- ✓ source d'effets environnementaux et biotiques

Les frontières : Les frontières sont les limites des unités paysagères qui se distinguent par des discontinuités mais des fois il est difficile de délimiter de manière rigoureuse les frontières des unités
L'Intérieur : pour une tâche il existe une zone centrale en dehors des influences directes de la matrice
L'écotone (lisière) : la transition entre deux conditions

environnementales est souvent graduelle et on considère une zone de transition appelées écotones qui ont des propriétés écologiques intéressantes notamment une forte biodiversité

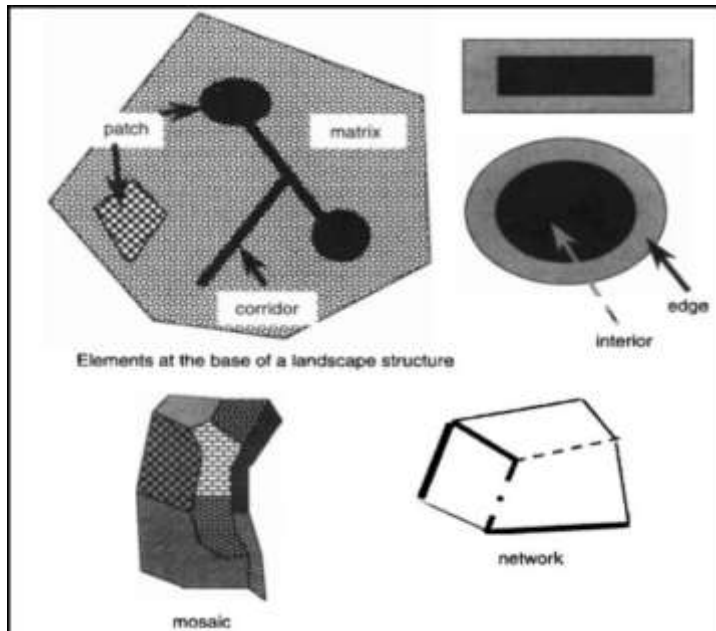


Figure 14: Éléments de base de la structure d'un paysage

1.2. La configuration

Il s'agit d'un attribut du paysage qui fait référence aux caractéristiques spatiales (distribution spatiale) des éléments du paysage

Théoriquement, on distingue plusieurs structures Spatiales (en mosaïque, sous forme de Grille, tâches ponctuelles irrégulières, tâches ponctuelles régulières, sous forme de zones successives, sous forme de zones alternantes, structure à transition graduelle)

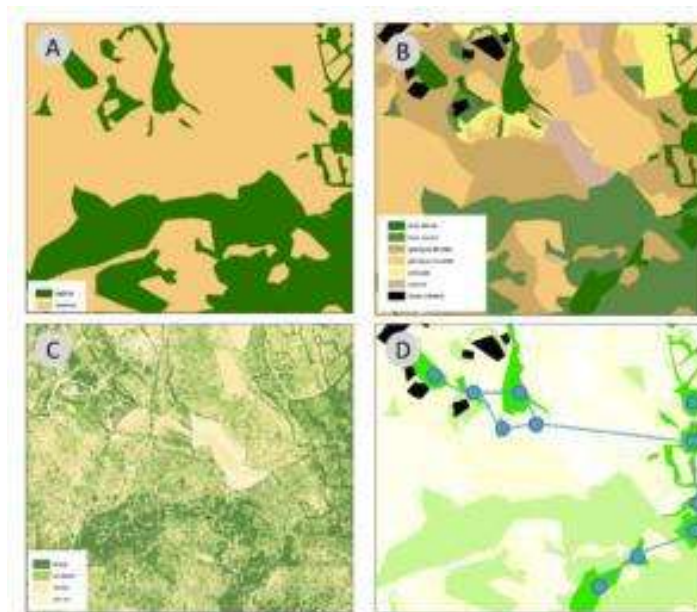


Figure 15: Quatre représentations d'un même paysage : Cazevieuille, Hérault (Deconchat et Sirami, 2017)

Dans un paysage du type matrice-habitat (A), les taches d'éléments de même nature sont insérées dans une matrice neutre et uniforme, le type de paysage en mosaïque (B) présente les différentes discontinuités des divers éléments d'un paysage fortement hétérogène, le modèle continue (C) rend compte de la variabilité à fine échelle et de la présence des gradients. Le modèle en réseau (D) présente des taches comme des nœuds d'un réseau.

1.3. Composition

L'attribut de composition définit la qualité des éléments du paysage (espèces, populations, communautés, écosystèmes), dispersés dans le paysage. La composition n'est pas une identification précise de la structure en mosaïque du paysage mais c'est un bon indicateur pour les conditions de vie de certaines espèces.

Deux paysages peuvent être de même structure mais de compositions différentes

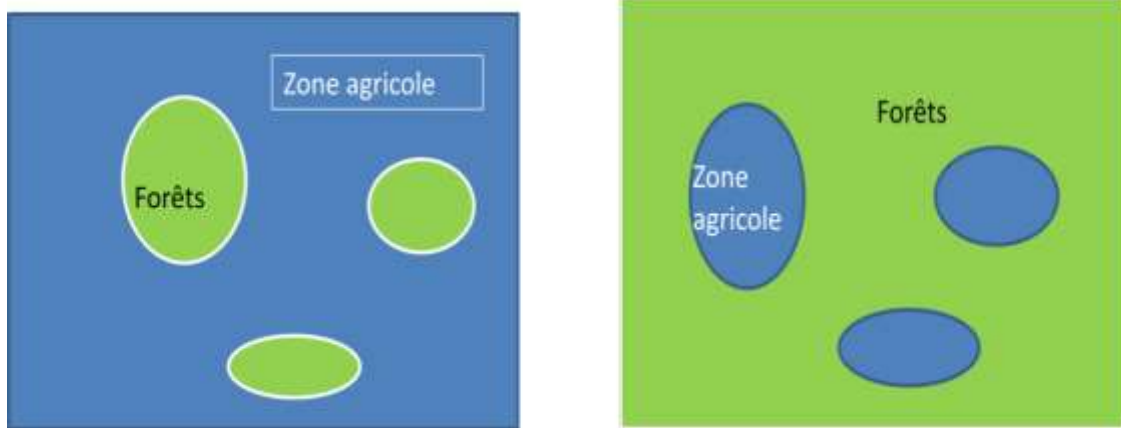


Figure 16: Exemple de matrices et taches de même structure mais des réalités différentes

1.4. Hétérogénéité d'un paysage

L'hétérogénéité a deux composantes: la diversité des éléments (patches) du paysage et la complexité de leurs relations spatiales.

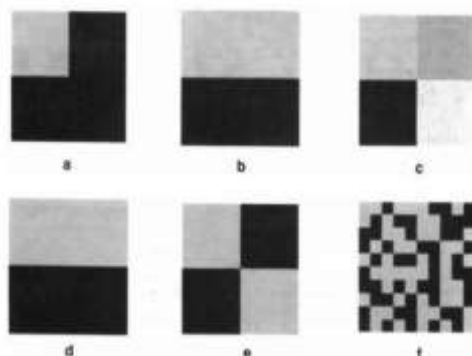


Figure 17: Composants de l'hétérogénéité. De a à c, l'hétérogénéité augmente avec le changement de la proportion et du nombre d'éléments. De d à f, il augmente en fonction de la variation de la distribution spatiale (Burel & Baudry, 1999, p.79)

L'hétérogénéité du paysage détermine le fonctionnement du paysage.

Exemple : paysage bocager

Le bocage est très riche en espèces animales : les haies abritent des animaux utiles pour lutter contre les ravageurs, au rang desquels figurent des oiseaux (Bruant jaune, Pinson des arbres, Chardonneret élégant, Bruant proyer, etc.) et des insectes carnivores (carabes, coccinelles). Certains secteurs du bocage sont les derniers refuges d'oiseaux rares comme la Pie-grièche grise ou la Chouette chevêche. La végétation est également très diversifiée car elle combine des milieux herbacés et des haies composées de Charme, Noisetier, Aubépine, etc. Les haies sont des corridors écologiques empruntés par les animaux forestiers pour se déplacer à couvert au sein du bocage. Certaines prairies du bocage possèdent encore des mares qui accueillent des insectes aquatiques (Dytique, par exemple) et différentes espèces de grenouilles et de tritons

2. Echelle d'un paysage

L'une des raisons pour lesquelles l'écologie du paysage accorde une grande importance à la notion d'échelle est que les données proviennent souvent de sources différentes (photographies aériennes, cartes topographiques, images satellites et données recueillies sur le terrain) et de nombreux aspects des processus écologiques changent avec l'échelle à laquelle ils sont observés.

La notion d'échelle spatiale est devenue récurrente dans les études en écologie et la bonne articulation de cette notion avec les phénomènes et processus écologiques étudiés est un enjeu scientifique majeur.

Il n'existe pas en effet une échelle à laquelle on peut observer tous les phénomènes écologiques

2.1. Principaux aspects de l'échelle

La notion d'échelle spatiale se définit principalement par trois composantes : **le grain, l'étendue et la résolution.**

Le grain correspond à l'unité d'observation. Celle-ci peut être de forme standard, comme un pixel, ou de forme variable, telle une entité administrative (commune), un objet physique (cours d'eau, marais, forêt,...) mais aussi un groupe d'entités (communauté de communes). Plus le grain est petit, plus l'information est détaillée et plus le grain est grand, plus l'information est grossière.

L'étendue correspond à la surface retenue pour l'étude et analyse, parfois aussi appelée, emprise spatiale.

La résolution correspond au rapport du grain sur l'étendue.

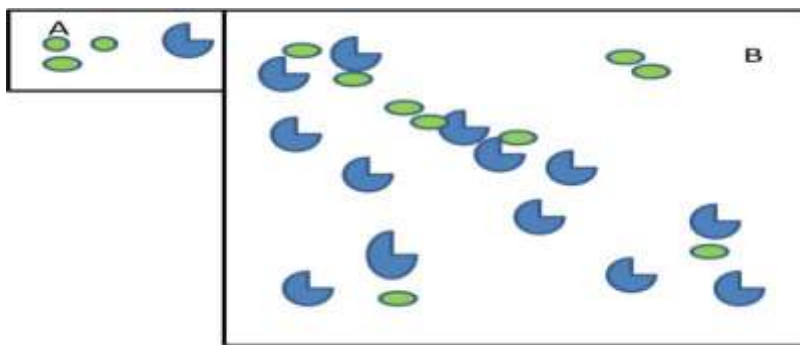
Pour une bonne observation et analyse des phénomènes écologiques, il serait le plus souvent souhaitable de pouvoir utiliser un grain fin quelle que soit la surface considérée afin de conserver le maximum d'informations sur une grande surface mais pour des raisons techniques et du fait des contraintes (techniques, matérielles et logistiques) inhérentes à la collecte de données en écologie, lorsque l'étendue prise en compte est augmentée, la taille du grain l'est en général aussi,.

2.2. Effets des changements de grain et d'étendue pour la collecte de données et l'interprétation des résultats

Un changement d'échelle d'observation pourrait modifier les phénomènes dominants observés.

Ainsi, le grain doit être maintenu aussi fin que possible pour garantir que les éléments du paysage petits et étroits, mais significatifs, soient préservés dans le modèle de données mais le grain pourra être augmenté dans la mesure du possible afin de ne pas confondre les détails inutiles avec les motifs importants à l'échelle grossière sur de grandes étendues

Exemple d'un milieu A (gain de 1m étendue de 100m) et un milieu B (gain 100m, étendue 1000 m)



2.3. Echelle d'une carte

L'échelle d'une carte est utilisée pour déterminer la proportion d'une unité sur la surface de la carte par rapport à la surface réelle du sol.

On différencie ainsi les termes **échelle large** et **échelle fine** (tels qu'utilisés en écologie du paysage) et termes **grandes et petites échelles** (utilisés en géographie en référence à des cartes).

L'échelle de 1: 5000 est une carte à plus grande échelle (échelle fine) qu'une carte au 1: 24 000

3. Dynamique des paysages

Les paysages ne sont pas statiques. Les paysages subissent des modifications suite aux changements climatiques, aux changements d'utilisation des sols et d'autres activités humaines.

Ainsi la structure de la mosaïque, la forme et la taille des taches du paysage peuvent être modifiés. Les principaux facteurs de changement de paysage sont des processus naturels (ex : avalanches, glissements de terrain, inondations) et surtout anthropiques (agriculture, industrialisation, déboisement et autres interventions humaines).

4. La naturalité

Dans son sens environnemental, naturalité renvoie au caractère sauvage d'un paysage ou d'un milieu naturel. Il s'agit d'une traduction, reconnue depuis les années 1960, du mot anglais wilderness. Comme on sait que la nature est depuis longtemps organisée par l'homme, un environnement purement naturel est difficile à envisager et un paysage naturel traduit les rapports que l'homme entretient avec les éléments qui le composent.

IV. QUANTIFICATION DE LA STRUCTURE SPATIALE DES PAYSAGES

L'analyse des phénomènes écologiques à de vastes échelles spatiales (paysage) nécessite souvent des descriptions quantifiables du schéma et de la structure du paysage afin de tester les relations ou de prédire le paysage et les phénomènes en question. À cette fin, divers paramètres de paysage terrestre ont été développés (Forman et Godron, 1986; O'Neill et al., 1988; Turner, 1990; Milne, 1991; Musick et Grover, 1991; Gustafson et Parker, 1992; Li et Reynolds, 1993, McGarigal et Marks, 1995).

Ces métriques paysagères concernent 4 composantes de la structure spatiale :

- a) **la surface** : les indices à mesurer sur la classe sont aux différents niveaux de l'hétérogénéité du paysage : taches, classes de taches, paysages.

Il y a lieu de calculer la surface totale, la surface moyenne, la surface maximale, le rapport surface maximale sur la surface totale (pour mesurer le degré d'agrégation), la cohérence c qui décrit comment les surfaces sont distribuées entre les différentes catégories de tâches

- b) **Le périmètre**

Il décrit les interactions entre les tâches individuelles et la matrice.

On considère que le périmètre min est celui d'un cercle. On peut ainsi calculer le rapport périmètre sur périmètre min pour mesurer l'élongation des tâches

- c) **Le nombre de tâches.**

La densité des tâches exprime le degré de fragmentation

- d) **Isolation des tâches**

Il y a 2 manières de mesurer la distance entre 2 tâches :

- Mesurer la distance la plus courte
- Mesurer la distance entre les centres

Mesurer la distance entre tâches voisines permet de se rendre compte de l'ampleur des interactions.

On fait alors une calcul des distances et on établit un diagramme de distribution des distances.

Il existe un nombre élevé de métriques paysagères qui ont été reconnues pour la plupart redondantes. Nous allons montrer celles qui sont le plus utilisées pour des mesures de Surface, des mesures de forme, des mesures d'isolement et des mesures de diversité

1. Métriques paysagères en rapport avec la surface

Les métriques paysagères couramment utilisées sont la surface de chaque classe d'occupation **CA: Class Area** (surface totale occupée par les tâches de la même classe) , la proportion de la surface de chaque forme d'occupation **PL: Percent of Landscape** et la taille moyenne des éléments **MPS: Mean Patch Size** .

2. Indices pour mesurer la composition

Pour mesurer la composition, différents indices comme les **indices de diversité** et **dominance** sont utilisés

$$H = \frac{-\sum_{i=1}^s (p_i) \ln (p_i)}{\ln (s)}$$

$$D = \frac{H_{\max} + \sum_{i=1}^s p_i \ln (p_i)}{H_{\max}}$$

H = diversité, pi= la proportion du paysage occupée par le type de tâches i et s le nombre de types de tâches présents. La division par ln (s) normalise l'index pour qu'il soit compris entre zéro et un. Une valeur élevée de H indique une plus grande uniformité et une faible valeur indique moins d'égalité.

D= dominance, pi= la proportion du paysage occupée par le type de tâches i et Hmax = ln (s), qui est la diversité maximale possible pour un paysage ayant s types de tâches.

Cet indice est compris entre zéro et un, une valeur élevée indiquant la dominance d'un ou de quelques types de tâches et une valeur faible indiquant que les types de tâches sont présents dans des proportions similaires.

3. Indices de nombre

Pour le nombre, il est défini le **NP (Number of patches)** et le **PD (Patch density)** qui correspondent respectivement au nombre total des entités de la même classe et au ratio entre ce nombre et la surface totale.

4. Indices de forme

Le ratio périmètre-surface ou indice de forme sur la totalité de la classe : **LSI (Landscape Shape Index)** pour exprimer la forme des éléments constitutifs du paysage et sa complexité.

On préfère l'**indice moyen (MSI)** qui considère chacune des entités élémentaires et l'indice moyen

pondéré :**AWMSI (Area-Weighted Mean Shape Index)** qui, au delà de considérer chacune des entités élémentaires, majore les grandes entités.

$$LSI = \frac{0,25 \sum_j p_{ij}}{\sqrt{\sum_j a_{ij}}}$$

Avec : a_{ij} = aire de chaque unité j de la classe i

p_{ij} = périmètre de chaque unité j de la classe i

0,25 est le terme de normalisation dû à la forme carrée de l'élément de base, le pixel

L'indice de dimension fractale : (**FRAC Fractal Dimension Index**), qui reflète la complexité et la fragmentation de la forme par la relation entre le périmètre et la surface varie entre 1, pour les formes simples, et 2, pour les formes complexes.

$$\text{FRAC} = \frac{2 \cdot \ln(0,25)}{\ln}$$

La moyenne des valeurs de FRAC pour tous composants du même type donne l'indice fractal moyen (FRAC_MN)

V. DYNAMIQUE PAYSAGERE ET MATRICE DE TRANSITION

1. Dynamique paysagère

L'Analyse diachronique permet de mettre en évidence l'évolution d'un paysage.

Procédure:

- Acquisition des données à différentes périodes pour tracer l'évolution du paysage (Exemple : acquisition des images satellites, les classer et quantifier les différentes formes d'occupation du sol)
- Calculer les métriques paysagères
- Etablir les comparaisons multi dates

Exemple de l'analyse de la dynamique du paysage de la Malagarazi (NDUWIMANA, 2014)

Pour analyser l'évolution du paysage naturel

de la Malagarazi afin de proposer un modèle contextualisé de conservation de la biodiversité, Nduwimana (2014) a utilisé des images landsat de de trois dates (1986, 2001,2013)

2. Méthodologie utilisée pour acquérir les données :

- Acquisition des Images landsat (1986, 2001,2013) gratuites sur le site www.landcover.org du centre « Global Land Cover Facility (GLCF) » de l'université de Maryland
- Classification des Images à l'aide du logiciel ENVI.4.6.1.
- Vectorisation de l'image classée et export dans QGIS
- Extraction des données et calcul des métriques après analyse spatiale

Image 1986										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tot
Forêt (1)	96,13	0,47	0,35	0,18	0,15	0,5	0,00	0,25	0,00	17,58
Marais dense (2)	0,04	98,28	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,57
Marais non dense (3)	1,75	1,25	97,58	0,05	0,00	0,59	0,00	0,09	0,00	14,72
Zone brûlée (4)	0,00	0,00	0,00	98,81	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	11,05
Culture de marais ou canne à sucre (5)	0,00	0,00	0,05	0,50	95,82	2,39	0,00	0,00	0,00	8,50
Sol faiblement couvert (6)	0,20	0,00	0,44	0,18	2,70	92,93	4,69	0,00	0,00	7,96
Sol nu et bâti (7)	0,12	0,00	0,00	0,12	0,08	2,21	95,31	0,00	0,00	4,65
Eau de surface (8)	1,72	0,00	0	0,05	0,05	0,00	0,00	99,54	0,00	7,94
Nuages (9)	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	7,39
Commission	1,48	1,15	5,45	0,12	3,15	7,15	4,99	4,08	0,19	
Omission	3,87	1,72	2,42	1,19	4,18	7,07	4,65	0,45	0,00	
Précision globale	97,30%									
Kappa	0,95									

Image 2001										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tot
Forêt (1)	97,57	1,01	0,51	0	0,00	1,19	0,00	0,00	0,00	13,54
Marais dense (2)	0,79	98,1	0,15	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,80
Marais non dense (3)	0,74	0,34	96,82	0,26	1,31	0,49	0,19	0,00	0,00	14,91
Zone brûlée (4)	0,00	0,00	0,00	98,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,80
Culture de marais ou canne à sucre (5)	0,05	0,05	2,50	0,00	97,80	0,00	0,00	0,42	0,00	10,53
Sol faiblement couvert (6)	0,79	0,00	0,52	0,18	0,59	96,54	0,54	0,00	0,00	14,47
Sol nu et bâti (7)	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	1,73	99,18	0,00	0,00	12,49
Eau de surface (8)	0,05	0,00	0,10	0,05	0,21	0,00	0,00	99,58	0,00	10,15
Commission	2,74	1,41	3,44	0,00	3,85	2,83	2,19	0,35		
Omission	2,43	1,90	4,18	1,03	2,20	3,45	0,82	0,42		
Précision globale	97,83%									
Kappa	0,97									

Image 2013										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tot
Forêt (1)	94,20	0,42	1,97	0,15	0,00	0,75	0,19	0,00	0,00	15,23
Marais dense (2)	1,38	98,4	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	17,75
Marais non dense (3)	0,22	0,59	97,31	0,00	0,45	0,05	0,00	0,51	0,00	8,46
Zone brûlée (4)	0,25	0,00	0,00	98,96	0,00	0,05	0,38	0,09	0,00	9,42
Culture de marais ou canne à sucre (5)	0,00	0,00	0,00	0,00	97,79	0,05	0,00	0,00	0,00	14,29
Sol faiblement couvert (6)	2,28	0,00	0,25	0,22	0,45	96,3	0,25	0,00	0,00	15,58
Sol nu et bâti (7)	1,55	0,00	0,09	0,55	1,23	0,78	99,06	0,00	0,00	8,52
Eau de surface (8)	0,00	0,20	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	99,23	0,00	8,75
Commission	2,74	1,41	3,44	0,00	3,85	2,83	2,19	0,35		
Omission	2,43	1,90	4,18	1,03	2,20	3,45	0,82	0,42		
Précision globale	97,67%									

Figure 18 : Classification des images du paysage aux trois dates (matrice de confusion et Kappa)

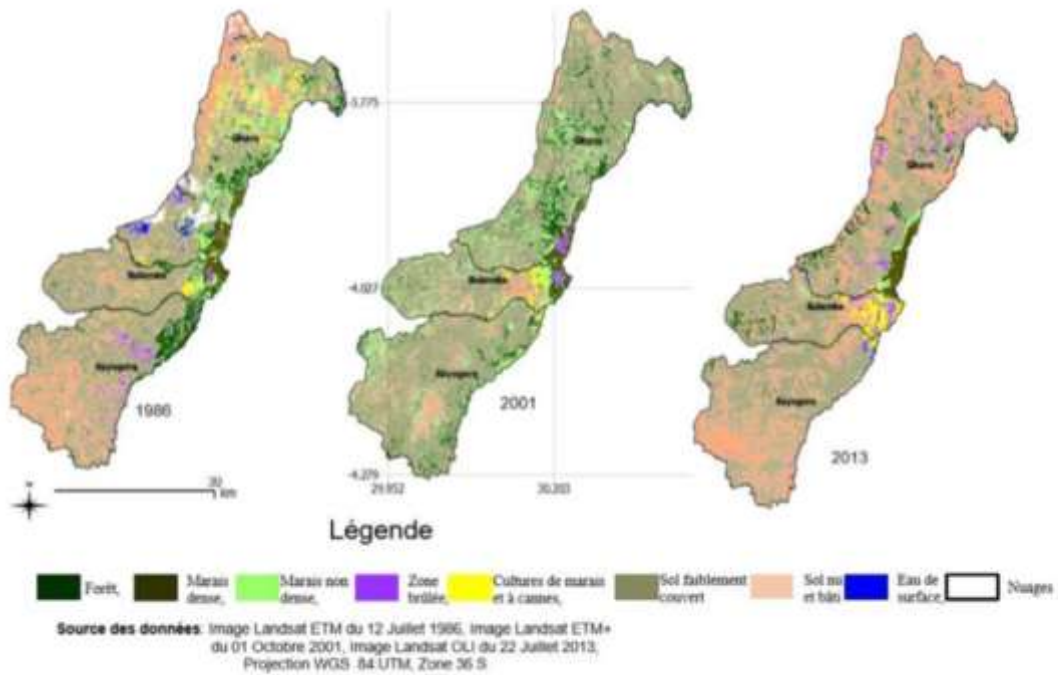


Figure 19: Evolution de l'occupation / Utilisation des Sols du paysage de la Malagarazi (1986, 2001, 2013)

3. Diagramme de transition

C'est une représentation chiffrée des tendances de l'évolution du paysage

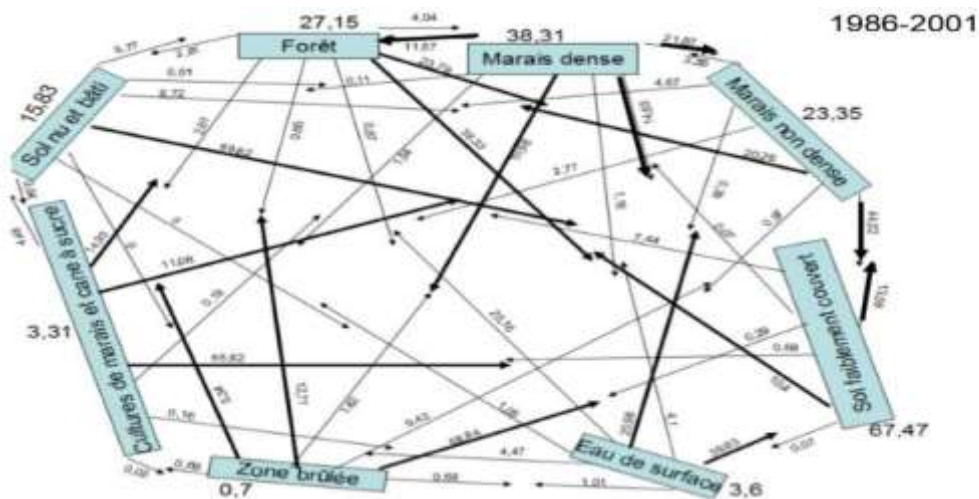


Figure 20: Diagramme de transition de l'occupation du sol 1986-2001

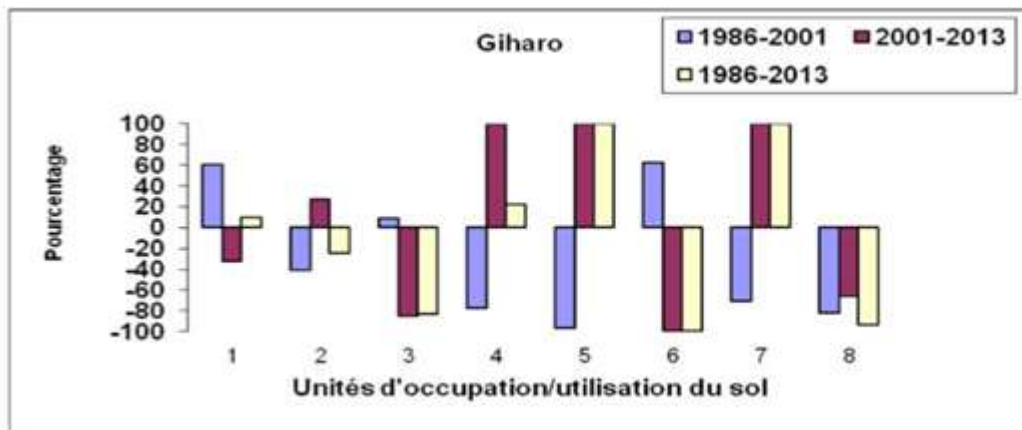


Figure 21: Evolution des formes d'occupation du sol du paysage de la Malagarazi de 1986 -2001, de 2001-2013, de 1986-2013

VI. FRAGMENTATION DES PAYSAGES ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

La fragmentation des paysages est citée parmi les principaux phénomènes à la base du déclin de la biodiversité.

Les mesures de conservation doivent prendre en compte ce phénomène, une des formes de transformation spatiale des paysages.

Nous allons dans cette partie:

- analyser les différents processus de transformation du paysage,
- analyser les effets de la fragmentation sur la biodiversité
- analyser les modes de conservation de la biodiversité à la lumière de la structure et de la fragmentation des paysages
- débattre sur le questionnement SLOSS

1. La fragmentation

La fragmentation des habitats est un des processus de transformation spatiale qui se manifeste lorsqu'une large étendue du paysage est transformée en de nombreux fragments de taille réduite et isolés

La fragmentation et la perte des habitats et de la biodiversité sont des phénomènes corrélés. La fragmentation est un phénomène en grande partie lié aux activités humaines

1.1. Les différents processus de transformation spatiale

Bogaert et al.(2004) in Bamba (2010) propose un protocole de détermination des processus de transformation spatiale en utilisant la **surface**, le **périmètre** et le **nombre de tâches** ou composant et définit dix processus :

1) « **agrégation** » : fusion de tâches ; 2) « **suppression** » : disparition d'une ou de plusieurs tâches 3) ; « **création** » : formation de nouvelles tâches ; 4) « **déformation** » : changement de forme des tâches sans changement de superficie ; 5) « **dissection** » : subdivision des tâches par de petites lignes de largeur uniforme ; 6) « **Elargissement** » : expansion de taille des tâches ; 7) « **fragmentation** » :

rupture de la continuité en plusieurs tâches disjointes, de formes et de tailles différentes ; 8) « **perforation** » : formation de trous dans les tâches ; 9) « **déplacement** » : translocation d'une ou de plusieurs tâches ; 10) « **rétrécissement** » : réduction de taille des tâches.

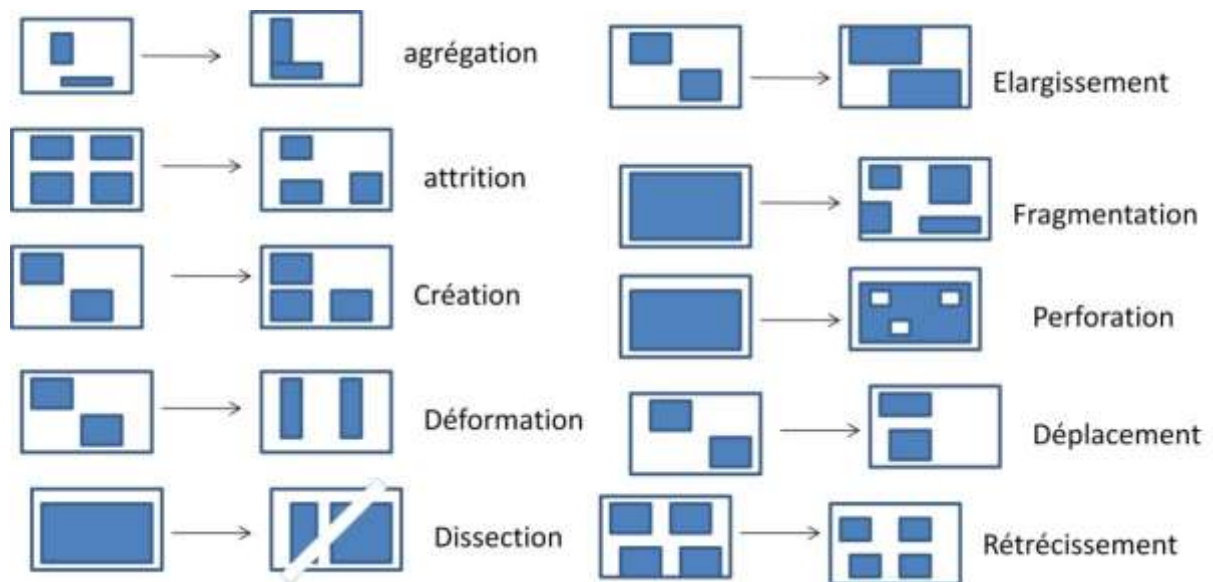


Figure 22: Schématisation des du processus de transformation spatiale (voir Bogaert et al., 2004)

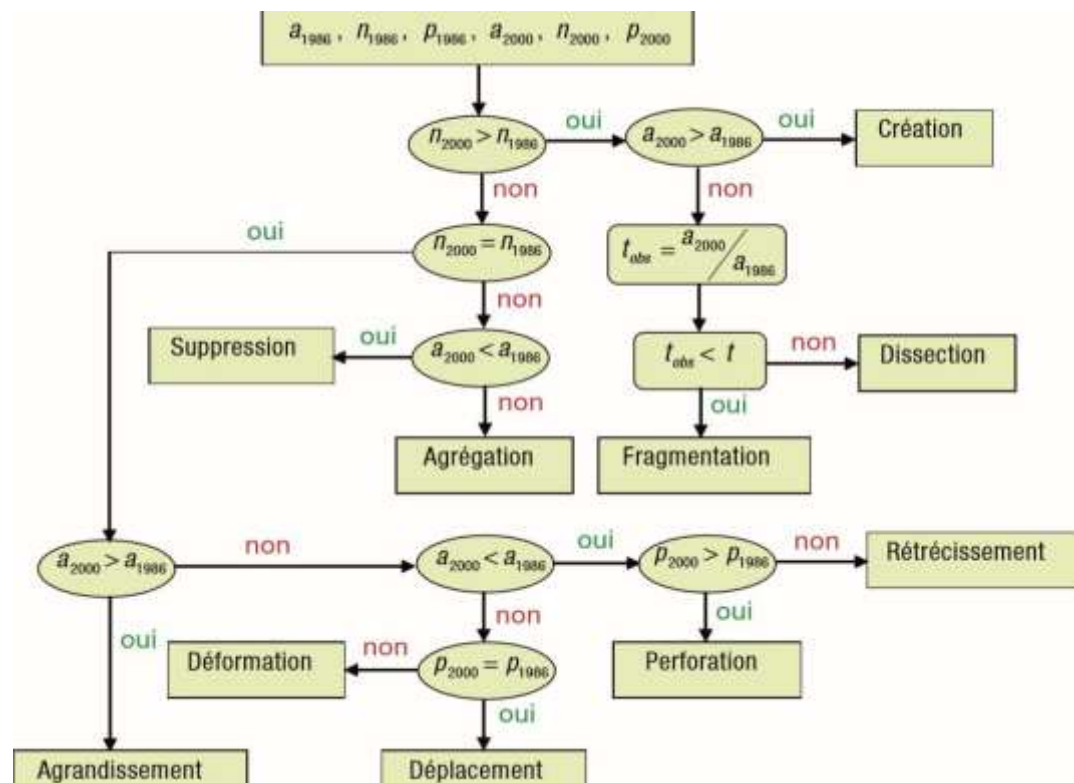


Figure 23: Identification du processus de transformation spatiale. Modèle inspiré de l'arbre de décision de Bogaert et al. (2004). n_{1986} , a_{1986} , p_{1986} et n_{2000} , a_{2000} , p_{2000} sont respectivement le nombre, l'aire et le périmètre des taches en 1986 et en 2000. Pour séparer les processus de fragmentation et de dissection, $t_{obs} = a_{2000}/a_{1986}$ est calculé et comparé à une valeur prédéfinie ($t = 0,5$; Barima, 2007). Le processus dominant est la fragmentation si $t_{obs} < t$ et dans le cas contraire le processus est la dissection (Barima et al, 2009)

1.2. Les Types de fragmentation (Harris & Sylva, 1982)

Quelques types de fragmentation sont distingués :

- ✓ La fragmentation régressive : la transformation se réalise dans une seule direction.
C'est le cas d'une forêt qui recule.
- ✓ La fragmentation enveloppante : la fragmentation s'exerce sur tout le périmètre ce qui cause une contraction de la zone centrale dans toutes les directions
- ✓ La fragmentation divisante qui résulte d'une force qui scinde l'ensemble en de parcelles.
- ✓ La fragmentation interne est celle dont la transformation s'opère de l'intérieur
- ✓ La fragmentation par empiétement qui s'opère de proche en proche sans trop impacter la structure

1.3. Effet de la fragmentation sur la biodiversité

La fragmentation des milieux affecte la biodiversité selon 4 mécanismes principaux :

- ✓ L'effet mécanique qui conduit à l'élimination des espèces présentes dans les milieux affectés
- ✓ Perturbation du processus de dispersion
- ✓ Modification des habitats : problèmes pour des espèces exigeant une diversité d'habitats, de même pour les espèces exigeant des habitats de taille considérable
- ✓ Effet de lisière : introduction d'espèces exotiques, danger pour les espèces endémiques

1.4. Par quels processus la fragmentation affecte la biodiversité

a) Processus endogènes

- Le déclin des espèces dans les paysages modifiés est souvent également lié à des modifications de la biologie et du comportement de ces espèces mais aussi à une modification des interactions inter spécifiques. Ces changements sont souvent déclenchés par des processus exogènes.
- La modification du paysage peut conduire à une modification des modes de reproduction et des systèmes sociaux. Par exemple, les oiseaux peuvent avoir des saisons de reproduction plus courtes, des pontes moins importantes (par conséquent moins de jeunes produits).

- Elle peut également conduire à la modification des relations de concurrence entre les espèces, de prédation de parasitisme ou de mutualisme. Ainsi une prédation ou une concurrence accrue d'une espèce avec une autre espèce peut conduire à la raréfaction ou à la disparition de cette dernière. Ce type de comportement a été relevé de nombreuses fois chez les oiseaux.

L'augmentation de la pression de prédation et de concurrence interspécifique peut être particulièrement inquiétante lorsque des espèces introduites sont impliquées.

Ainsi les perturbations des interactions entre espèces sont particulièrement graves lorsque des espèces qui jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes sont affectées

b) Processus exogènes

- La perte d'habitats peut être considérée comme la principale menace affectant la biodiversité dans le monde. Elle est principalement causée par la modification des paysages par l'agriculture ainsi que par l'urbanisation. La dégradation de l'habitat correspond à une dégradation progressive de la qualité de ce dernier. Dans un tel habitat, une espèce peut décliner, être présente dans une densité plus faible ou être affecté dans sa reproduction

Les effets de la dégradation des habitats peuvent être difficiles à détecter car certains peuvent mettre du temps avant de se manifester ou encore parce que certaines espèces qui ont un cycle de vie assez lent peuvent être encore présent dans la zone même si elles sont incapables de se reproduire.

- La division de l'habitat en de multiples patches d'habitats peut conduire à une diminution de la taille de population, notamment si les ressources dans les patches sont plus limitées que dans la zone avant fragmentation. Mais aussi parce que la division en patches augmente l'isolement, qui va nuire au déplacement quotidien des espèces (par exemple entre le site de reproduction et le site d'alimentation). Ce phénomène peut également avoir un impact négatif sur la dispersion des jeunes.
- Enfin l'isolement des habitats peut nuire à des mouvements de plus grande envergure comme les mouvements migratoires saisonniers ou les mouvements liés au phénomène de réponse aux changements climatiques.

c) Interactions entre processus exogènes et endogènes

Une espèce en déclin en raison des modifications du paysage est souvent affectée par les deux processus.

Les menaces exogènes conduisent souvent à la baisse initiale des effectifs d'une espèce. Les populations plus petites sont ainsi plus sensibles aux menaces endogènes

De nombreux éléments peuvent expliquer une certaine prédisposition de certaines espèces à être plus sensible à l'extinction. Ainsi on considère souvent les espèces ayant un habitat ou une niche écologique spécialisée, la taille du domaine vital, la mobilité, la densité de la population, la taille des individus et le régime alimentaire spécialisé.

L'influence de la taille des individus peut être expliquée par une différence dans le besoin d'espace, la mobilité ou encore le régime alimentaire. Les espèces ayant une faible spécialisation en termes d'habitats seront plus aptes à se maintenir dans des habitats modifiés. Le même constat peut être fait pour les espèces pouvant supporter une tolérance aux dérangements plus importantes.

d) Espèces sensibles à la fragmentation

Ces espèces sensibles à la fragmentation sont :

- Les espèces naturellement rares qui ont une faible densité de population ou une distribution géographique limitée,
- Les espèces qui ont une faible fécondité ou un cycle de vie court
- Les espèces ayant besoin d'une grande superficie d'habitat pour assurer une viabilité de la population sur le long terme,
- Les espèces ayant de faible capacité de dispersion, et qui ne pourront donc pas rejoindre un habitat non fragmenté,
- Les espèces qui ont besoin pour vivre de ressources présentes de manière imprévisible.
- Les espèces ne pouvant vivre que dans les espaces cœurs (et donc pas dans les zones de lisières) ou les espèces qui seront vulnérables aux prédateurs présents dans les zones de lisières.
- Les espèces vulnérables à l'exploitation humaine.

2. La conservation de la biodiversité

Qu'est-ce que c'est la biodiversité

Diversité vient de la contraction de l'expression **diversité biologique**

Ce terme a été adopté dans le langage courant à l'occasion du sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992. Cependant, il était déjà utilisé depuis plusieurs années par les scientifiques.

La biodiversité comprend toute forme de vie sur la planète

Elle est définie comme étant la "**variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces, et entre les espèces et ainsi que celle des écosystèmes**" (article 2 de la Convention sur la diversité biologique),

La diversité concerne trois niveaux du vivant : Niveau génétique, spécifique et des écosystèmes.

Elle comprend :

- ✓ Des créatures microscopiques aux organismes géants
- ✓ Plantes, animaux et microorganismes

Pourquoi exprimer la biodiversité par le nombre des espèces?

Le nombre d'espèces ne devrait pas être le critère pour exprimer la diversité car la qualité des milieux joue un rôle non moins important. Cependant la richesse spécifique est un des critères facilement mesurable auquel doit s'ajouter d'autres critères comme l'abondance.

Si on considère les espèces, la biodiversité comprendrait 8,7 million d'espèces dont 2,2 marines ; 1.75 million d'espèces sont identifiées, 1,3 million déjà cataloguées (Mora et al, 2011)

On comprendra que 86% et 91% respectivement espèces terrestres et espèces marines qui existent ne sont pas décrites

75% de nouvelles espèces décrites appartiennent aux groupe des invertébrés et microorganismes contre 11% pour les végétaux supérieurs et 7% pour les vertébrés (Chapman, 2009 ; UNEP-CDB, 2010).

La biodiversité non visible semble avoir été négligée alors qu'il est actuellement prouvé qu'elle joue un rôle tout aussi majeur (Gomez et Nichols, 2013).

Pourquoi protéger la biodiversité ?

La biodiversité est inégalement répartie: Myers et al. (2000) montre que 44% des plantes vasculaires et 35% des vertébrés sont confinés à 25 sites qui totalisent seulement 1,4% de la surface de la terre

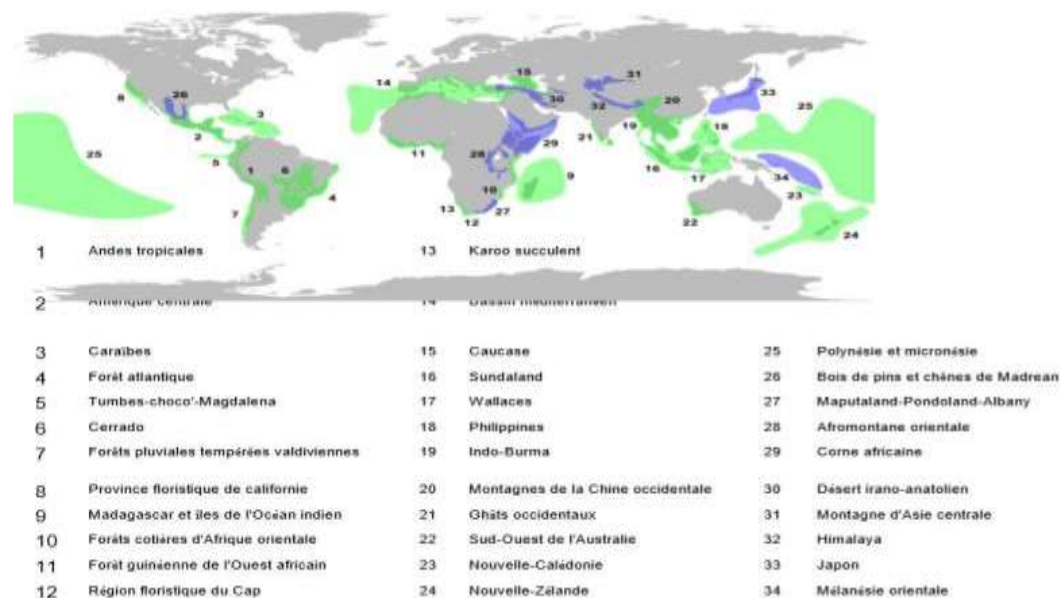


Figure 24: Points chauds de la biodiversité définis par International Conservation : en vert 25 points chauds définis dès l'année 2000 (Myers et al., 2000), en bleu ceux ajoutés par la suite (Mittermeier et al., 2004)

La biodiversité est sérieusement menacée:

- ✓ 150 à 200 espèces disparaîtraient chaque jour !
- ✓ Si le taux actuel de destruction des forêts et des récifs coralliens se poursuit, 50% des espèces végétales et animales pourraient avoir disparu d'ici la fin du 21^e siècle.

la plupart d'espèces ne sont pas décrites et ne le seront probablement jamais si elles sont entre temps éteintes.

On estime à 16000 le nombre d'espèces nouvelles décrites (Grundmann, 2010) soit moins de 0,2 % et de 0,1% à 0,5 % le taux d'espèces éteintes chaque année (Groombridge, 1992).

Quelles sont les principales causes de la perte et dégradation de la biodiversité ?

Les principales causes de la perte de biodiversité sont :

- ✓ Fragmentation et destruction des habitats
- ✓ Espèces exotiques envahissantes, et pollution
- ✓ Surexploitation (déboisement, extension de l'agriculture, urbanisation, etc)
- ✓ Amincissement de la couche d'ozone
- ✓ Changement climatiques (réchauffement planétaire)

3. Evolution des approches de conservation de la biodiversité.

Face aux différentes menaces qui pèsent sur la biodiversité, différentes approches ont été tentées visant à créer des réserves pour cette biodiversité menacée.

L'objectif ultime est :

- ✓ La conservation d'écosystèmes fonctionnels
- ✓ La conservation des services écologiques
- ✓ La conservation de communautés biologiques, espèces et populations

Les critères objectifs pour créer une aire protégée (même si la création des aires protégées n'a pas partout respecté des critères identifiés) sont **la représentativité** (richesse spécifique, hot spots) et **la persistance** (espèces indicatrices, espèces clé-de-voûte, espèces parapluies, espèces charismatiques, etc.)

3.1. Concepts:

- ✓ Protection intégrale

C'est un concept qui consiste en la création de zones naturelles protégées exclusives où les populations locales sont considérées comme une menace directe pour le maintien de la nature, les aires protégées naturelles inhabitées étant considérées comme la meilleure solution pour protéger durablement les milieux naturels en péril

- ✓ Conservation de la nature

Avec l'acquisition de nouvelles connaissances dans le domaine scientifique (développement de l'écologie) et les réalités du terrain, on se rendit vite compte que :

1°) La grande majorité des habitats « sauvages » n'ont rien de stable et ne sont en réalité que des étapes dans une succession de milieux évoluant, pour autant que n'interviennent pas de facteurs perturbateurs, vers l'équilibre, et qu'en conséquence il ne suffisait pas de « mettre sous cloche » des échantillons suffisamment étendus des principaux habitats pour assurer la survie indéfinie des végétaux et des animaux sauvages qui y vivaient,

2°) Les aires protégées se situent souvent dans des espaces enclavés, ou dans des zones servant de refuges pour certaines espèces emblématiques ;

3°) De nombreuses espèces et écosystèmes riches et représentatifs de la diversité biologique ne sont pas inclus dans les aires protégées.

Le concept de la conservation n'est plus de laisser faire la nature sans intervention de l'homme mais préconise une gestion rationnelle des ressources naturelles et une extension pour des espèces en dehors des aires protégées. C'est la raison pour laquelle on est passé du concept de la protection de la nature à celui de la conservation de la nature

✓ Environnement humain.

Le concept de l'environnement trouve son origine dans la prise de conscience, plus ou moins confuse à ses débuts, des menaces potentielles constituées par l'augmentation et la diversification des atteintes, pollutions et dégradations affectant le milieu humain. De la dimension de la pure conservation de la nature, on passe à la dimension de l'environnement où l'homme doit lutter pour la nature et pour sa survie.

✓ Développement durable

Le concept de développement durable est adopté à la conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) comme un processus à trois piliers interdépendants (l'écologique, l'économique et le social); un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable.

3.2. Approches et pratiques

✓ Parc national et réserve naturelle intégrale

Les premières formes de conservation mises en place depuis la deuxième moitié du 19ème siècle et encore prépondérantes jusqu'en 1980 sont le parc national et la réserve naturelle intégrale avec l'objectif de préserver la nature contre la menace de l'homme. Les populations en ont été expulsées pour la plupart sans indemnités et les conséquences n'ont pas été celles attendues en ce qui est de la conservation de la biodiversité.

✓ Patrimonialisation de la nature

Face aux pressions qui s'exerçaient sur le milieu naturel tropical surtout après les indépendances dans les pays d'Afrique et pour freiner la déforestation, un appel à la responsabilité commune a été lancé par les organismes de conservation et les pouvoirs publics ont été obligés de sursoir aux intérêts privés en mettant sous le statut de patrimoine de l'humanité des sites qui étaient ciblés pour leurs particularités écologiques et originalité de leurs flores et faunes

✓ Participation des populations locales

Le congrès mondial des aires protégées de Bali en 1982 réaffirme que les aires protégées dans les pays en développement ne survivront que si elles prennent en considération les besoins des populations locales. Tout projet de conservation devrait viser aussi l'amélioration des conditions de vie des populations locales.

Avec cette impérative nécessité de participation des populations locales, d'autres formes de conservation que le parc national et la réserve intégrale allaient être adoptées, par l'UICN en 1994, sous le vocable général d' « aires protégées » qui se différencient par les objectifs et le mode de gestion (Voir tableau ci-dessous)

Tableau 1 : Catégories d'aires protégées (IUCN, 1994) et principales caractéristiques

Catégorie	Principal objectif	Exemple
Ia	Protection intégrale: Préservation des espèces et de la diversité génétique, recherche scientifique	Réserve naturelle intégrale
Ib	Protection intégrale: Protection des espèces sauvages, maintien des fonctions écologiques	Zone de nature sauvage
II	Conservation de l'écosystème et loisirs : Préservation des espèces et diversité génétique, maintien des fonctions écologiques, tourisme et loisirs	Parc national
III	Conservation d'éléments naturels: préservation des espèces et de la diversité génétique, protection d'éléments naturels /culturels particuliers, tourisme et loisirs	Monument naturel
IV	Conservation par une gestion active : Préservation des espèces et diversité génétique, maintien des fonctions écologiques	Aire de gestion habitats/espèces
V	Conservation d'un paysage et loisirs: Protection d'éléments naturels/culturels particuliers, tourisme et loisirs, préservation des particularités culturelles/traditionnelles	Paysage protégé
VI	Utilisation durable des écosystèmes naturels: Préservation des espèces et de la diversité génétique, maintien des fonctions écologiques, utilisation durable des ressources et des écosystèmes naturels	Aire protégée des ressources

Notons que malgré la prise de conscience de la participation des populations locales, la forme de la participation a toujours opposé la conservation et la quête de la satisfaction des besoins des populations locales (forme ICDP, Cogestion, gestion communautaire, etc.)

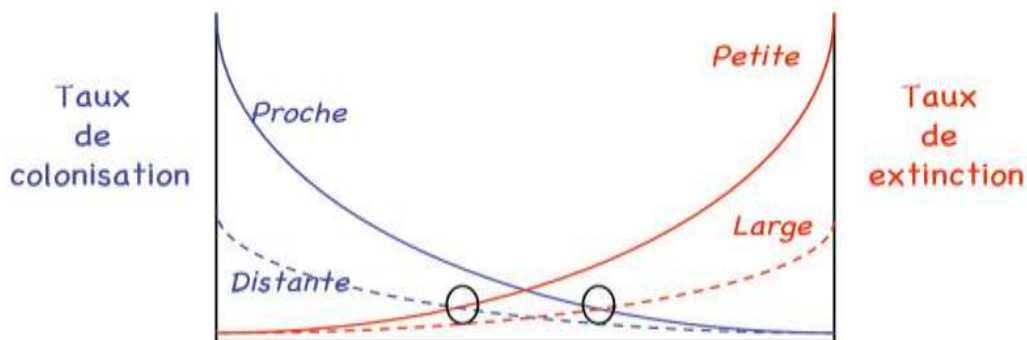
3.3. Débat SLOSS

Au débat sur l'intégration des préoccupations des sociétés dans la conservation de la biodiversité s'est ajouté le débat sur la forme et la taille de l'aire protégée pour qu'elle soit un outil efficace de conservation de la biodiversité

Données théoriques?

- ✓ La perte des espèces est inversement proportionnelle aux surfaces des réserves (AP)
- ✓ Des espèces ne peuvent pas subsister à très faible effectif et exigent des étendues vastes (MVP)
- ✓ Des espèces occupent des niches différentes et sont complémentaires

- ✓ Une seule tâche même grande est vulnérable en cas de catastrophes
- ✓ Une large et proche réserve affiche un taux de recolonisation élevé et un taux d'extinction faible par rapport à une réserve petite et distante



Réserve Large & Proche >> Réserve Petite & Distante

Figure 25: Facteurs d'extinction

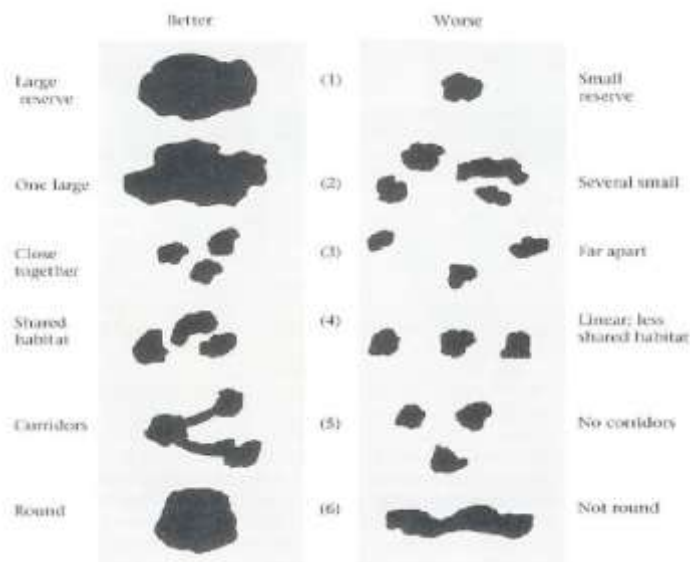


Figure 26: Avantages comparatifs grandes réserves et petites réserves

3.4. Modèle paysager dans la conservation de la biodiversité : cas de réserve de Biosphère et de la Trame verte et bleue

a) Réserve de Biosphère

Le concept de réserve de biosphère est une approche et un outil initié par le programme MAB de l'UNESCO pour répondre au besoin d' une approche qui permet la conservation en répondant aux impératifs du développement et du bien être des communautés se faisait sentir.

L'idée de création des réserves multifonctionnelles qui est à l'origine du concept est apparue en 1969 lors des consultations scientifiques pour définir les composantes du programme MAB et c'est en 1974 que la caractéristique spatiale et fonctionnelle d'une réserve de biosphère est définie

La stratégie pour les réserves de biosphère(ou stratégie de Séville) et le cadre statutaire pour le réseau mondial des réserves de biosphère adoptés par la Conférence Générale de l'UNESCO en 1995 constituent les textes de référence pour les réserves de biosphère et du Réseau.

« Les réserves de biosphère sont des zones recouvrant un écosystème ou une combinaison d'écosystèmes terrestres et côtiers/marins, reconnues au niveau international dans le cadre du programme de l'UNESCO sur L'homme et la biosphère (MAB). Leur but est de promouvoir une relation équilibrée entre les êtres humains et la biosphère et d'en offrir la démonstration. Elles sont désignées par le Conseil International de Coordination du programme MAB, à la demande des Etats concernés. Chacune continue de relever de la seule autorité de l'Etat sur le territoire duquel elle est située. Les réserves de biosphère forment ensemble un réseau mondial, auquel les Etats participent à titre volontaire. »

La réserve de biosphère constitue un outil de gestion adaptative et intégrée qui vise à associer conservation et développement durable et se caractérise par une organisation structurelle et fonctionnelle lui permettant de remplir, de manière intégrée, trois fonctions

1° : Une ou plusieurs zone(s) noyau(s) également appelée(s) zone(s) centrale(s) ou cœur, jouissant de dispositions légales garantissant la protection des éléments les plus précieux ou représentatifs (fonction de conservation)

Cette zone joue le rôle de conservation de la diversité biologique (contribuer à la conservation des paysages, des écosystèmes, des espèces et de la variation génétique) et culturelle. Elle est normalement soustraite aux activités humaines à l'exception des activités de recherche et de surveillance continue, voire certaines activités de collecte exercées par les populations locales.

2° Une ou plusieurs zone(s) tampon(s) clairement identifiées autour de la zone ou des zones centrales ou contiguës à celles-ci. (Fonction logistique)

Elles sont le lieu des activités compatibles avec les objectifs de conservation. Elles peuvent être le lieu de recherches expérimentales destinées, par exemple, à la mise au point de méthodes de gestion des ressources naturelles. Les expérimentations peuvent également porter sur la réhabilitation des zones dégradées. Des installations d'éducation, de formation, de

tourisme et de loisirs peuvent y être effectuées. L'accent est mis sur l'utilisation durable des ressources naturelles au profit des communautés locales.

3° Une ou plusieurs zone(s) de transition extérieure (Fonction de développement) C'est au niveau de ces zones qu'ont lieu les actions spécialement destinées à promouvoir le développement des populations locales dans un cadre durable, en mettant également en œuvre des stratégies et des modèles de développement durable, et qu'ont également lieu la plupart des actions d'expérimentation. Ces zones sont également appelées zone de coopération car les populations locales, les organismes chargés de la conservation, les scientifiques, les associations, les groupes culturels, les entreprises privées et autres partenaires doivent y œuvrer ensemble pour gérer et développer les ressources de la région de façon durable, au profit des populations qui vivent sur place

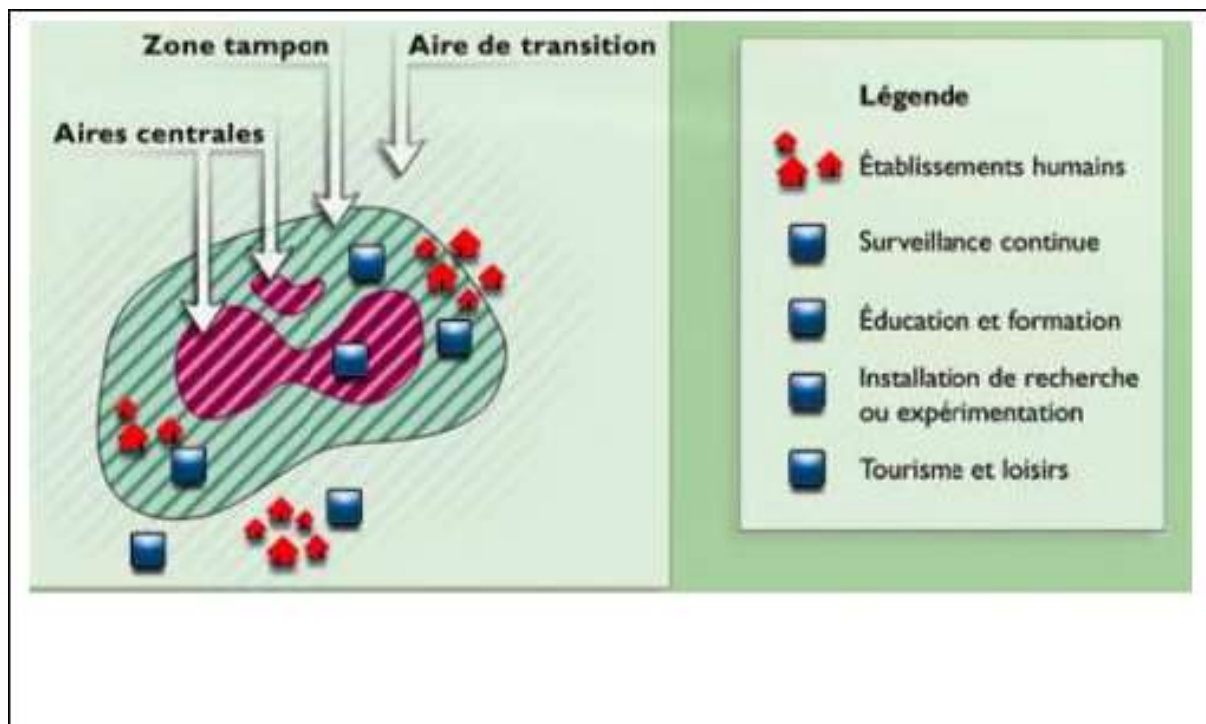


Figure 27: Structure d'une réserve de biosphère (source : Réseau Mondial des Réserves de Biosphère, 2010)

b) Le concept de réserve de biosphère et le pari de concilier la conservation de la biodiversité et le développement durable (atouts)

1° Trois zones, trois fonctions, flexibilité

La structure des réserves de biosphères est le premier atout pour que cette approche puisse concilier la conservation et le développement durable. Cette structure permet de donner une applicabilité spatiale à la triple fonction sans qu'il y ait distorsion puisque il ya flexibilité en ce qui est des dimensions (lors de la révision périodique).

Les trois fonctions doivent être assurées car leur présence combinée est une caractéristique sans laquelle on ne peut pas parler de réserve de biosphère

2° Le caractère systémique de l'approche.

Avec la réserve de biosphère, on ne considère pas la conservation comme un problème simple auquel on a un modèle de solution tout fait. On l'appréhende dans le cadre global du développement durable et c'est en fonction des enjeux (intérêts) des différents partenaires que les choix des modalités sont faits. La réserve de biosphère est un projet de développement négocié par tous les partenaires et la conservation constitue un des principaux axes, Il n'y a pas de solution à priori caractéristique à la pensée analytique qui a caractérisé les programmes de développement et de conservation traditionnellement appliqués qui se sont avérés incapables d'atteindre les résultats escomptés.

3° Participation de tous les acteurs et des populations locales.

Une importance est donnée à la participation de tous les acteurs (les pouvoirs publics, les communautés locales, les chercheurs, les ONGs de conservation et les intérêts privés) et à toutes les étapes : Un dialogue en amont de la création d'une réserve de biosphère en formulant un consensus sur toutes les questions liées à la conservation et au développement, Une participation à la gestion et au suivi-évaluation. Cette opportunité de négociation qui aboutit à un accord diffère de la pratique courante où la participation de la population locale se limite à une consultation transformant les populations en bénéficiaires passives des avantages et retombées générées dans des zones qui ne sont pas soumises à leur contrôle

4° la recherche et l'apprentissage par action.

Les activités de recherche sont principalement dirigées vers la quête des solutions aux problèmes posés localement, les résultats sont communiqués et contribuent à améliorer la façon de mener le développement et la conservation. Les réserves remplissent alors leur fonction de laboratoire à ciel ouvert.

5° Approche de réserve de biosphère, un cadre pour arrimer le local et le global

Au cours des années 1990, les pays en développement (surtout africains) vont être obligés de mettre en place des plans d'actions environnementales guidés par des politiques environnementales conçues ailleurs qui ne tenaient pas en compte le contexte local. L'approche de réserve de biosphère est conçue pour concevoir et exécuter au local des actions qui vont avoir un impact sur le plan global.

L'organisation en réseaux (national et mondial) des réserves de biosphère et en espaces régionaux (Europe-Amérique du Nord, Afrique, Asie et Pacifique, Amérique latine et Caraïbes, Les Pays Arabes) permet des échanges et des coopérations pour donner réponse à des questions locales, régionales et internationales du développement et de l'environnement.

Les réserves de biosphère sont considérées alors comme des laboratoires différents et à ciel ouvert du développement durable.

c) Trame verte et bleue

Elle est constituée de l'ensemble du maillage des corridors biologiques (ou corridors écologiques, existant ou à restaurer), des « réservoirs de biodiversité ».

Elle vise à enrayer la perte de biodiversité (extraordinaire et ordinaire) alors que le paysage est de plus en plus fragmenté.

Elle doit permettre aux espèces animales et végétales de se déplacer pour effectuer les étapes importantes de leur cycle de vie (alimentation, repos, reproduction...).

Elle doit aussi permettre de faciliter les échanges génétiques nécessaires à la survie des espèces sauvages ainsi que le déplacement des « aires de répartition » des espèces sauvages et des habitats naturels, sous la contrainte du changement climatique.

La partie « verte » correspond aux milieux naturels et semi-naturels terrestres et la composante « bleue » fait référence au réseau aquatique et humide (fleuves, rivières, zones humides, estuaires...)

VII. MESURES DE L'ANTHROPISATION DES PAYSAGES

Depuis l'antiquité, le développement de la population humaine et des activités économiques ont progressivement modifié les paysages naturels et depuis le 19^{ème} siècle, les progrès technologiques ont fait entrer la planète dans une phase où le fonctionnement des écosystèmes est dominé par les actions humaines

Les changements d'occupation et d'usage des sols résultent des interactions entre facteurs anthropiques et environnementales, existent et ont évolué depuis des décennies et des siècles, ont façonné les paysages jusqu'aux espaces anthropisés que nous connaissons aujourd'hui.

Ces facteurs agissent et interagissent à plusieurs échelles spatiales et différents niveaux d'organisation humaine allant des politiques publiques aux choix individuels en passant par les politiques locales.

1. Généralités sur l'anthropisation des paysages.

La compréhension des processus écologiques passe par l'identification des facteurs à l'origine des caractéristiques et des dynamiques des paysages que nous observons actuellement. Cette compréhension nécessite d'interroger le passé (données archéologiques, cartographies, photos et images anciennes) et de calculer :

- ✓ Le gradient diminution des zones naturels (forêts, zones humides, autres espaces naturels) et l'intensification des zones artificialisées (zones agricoles, industrielles, urbanisées, l'intensification du réseau, etc)
- ✓ La dynamique temporelle du gradient du nombre, de la taille, de forme des taches (composition, hétérogénéité et complexité de la forme des paysages anthropisés). Les modèles de dynamique paysagères sont des outils importants pour comprendre facteurs qui façonnent les paysages.

2. Modélisation

La modélisation permet d'examiner les implications de l'extrapolation à long terme de la dynamique du paysage à court terme.

Cette extrapolation du statu quo permet d'évaluer d'autres scénarios de gestion ou tester des hypothèses.

Il existe un large éventail de moyens de prendre en compte les changements de paysage, du plus simple et facilement interprétable au plus réaliste et moins facile à gérer.

Modèle de Markov

Pour analyser changement de paysage , il est souvent fait une comparaison des mesures de l'état d'un paysage à deux périodes différentes (analyse diachronique).

On notera par exemple que pour des images multidates, et certaines des cellules (ou pixels) ont changé de type de couverture au cours de l'intervalle de temps considéré (exemple 10 ans).

Une façon de mettre en évidence le changement de paysage consiste simplement à additionner toutes les instances, cellule par cellule, dans lesquelles une cellule a changé de type de couverture au cours de cet intervalle de temps

Une manière concise de résumer ces calculs est une matrice de décompte brute, qui pour m types de couverture est une matrice de $m \times m$.

Les éléments, n_{ij} , de la matrice de décompte, totalisent le nombre de cellules qui sont passées du type i au type j sur un intervalle de temps.

Une matrice de comptage brute est souvent convertie en proportions en divisant chacun des éléments par le total de la ligne pour générer une matrice de transition P .

Les éléments, p_{ij} , de la matrice de transition P résument la proportion de cellules de chaque type de couverture qui se sont mutuellement transformées.

Les éléments diagonaux de cette matrice, p_{ii} , sont les proportions de cellules qui n'ont pas changé

Un modèle de Markov de premier ordre (Usher, 1992) suppose que pour prédire l'état du système à l'instant $t+1$, il suffit de connaître l'état du système à l'instant t .

Le cœur d'un modèle de Markov est la matrice de transition P , qui résume la probabilité qu'une cellule de type de couverture i passe au type de couverture j au cours d'un seul pas de temps.

Le pas de temps est l'intervalle sur lequel on a observé que les données changeaient (c'est-à-dire l'intervalle de temps des deux cartes).

Les modèles de Markov, bien que simples, possèdent un certain nombre de propriétés intéressantes. En particulier, ils peuvent être résolus par itération pour projeter l'état du système

- ✓ Écrire l'état du système en tant que vecteur: $x_t = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots]$ (1) où x_i est la proportion de cellules du type i à l'instant t ,
- ✓ un modèle de Markov est projeté: $x_{t+1} = x_t P$ (2)

c'est-à-dire que le vecteur d'état est multiplié par la matrice de transition.

□ La projection suivante pour le temps $t+2$ est
établie: $x_{t+2} = x_{t+1}P = x_tPP = x_tP^2$ (3)

□ et en général, l'état du système à l'instant $t+k$ est donné par:

$$x_{t+k} = x_tP^k$$