



Direction régionale de l'environnement  
PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

# LA FRAGMENTATION DES MILIEUX NATURELS

## 1- Etat de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels

Avril 2008





# BORDEREAU DE DONNEES DOCUMENTAIRES

**TITRE :** LA FRAGMENTATION DES MILIEUX NATURELS

TOME 1 - Etat de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels

**AUTEUR(s) :** Frédérique GERBEAUD MAULIN (CETE Méditerranée - MEEDDAT) – Marlène LONG (vacataire)

## **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Ministère de l'Energie, de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire – Direction Régionale de l'Environnement Provence Alpes Côte d'Azur

**DATE DE PUBLICATION :** Avril 2008

## **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

écologie du paysage - réseau écologique – fragmentation des milieux naturels – modélisation de la fragmentation des milieux et des paysages

## **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Cet ouvrage est le premier tome d'une série consacrée à la fragmentation des espaces naturels. Il se propose de dresser un état de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation. Basé sur une recherche bibliographique, il fait le point sur :

- Quelques notions de base en écologie du paysage et le concept de fragmentation des milieux naturels et des paysages,
- les outils disponibles aujourd'hui pour réaliser une évaluation de l'état de fragmentation d'un territoire, par analyse spatiale ou statistique.

La fragmentation désigne tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace qui, modifiant la taille, les formes et la distribution spatiale des éléments de base des paysages naturels, s'oppose à la satisfaction des besoins vitaux de la faune et la flore en termes de déplacements et de dispersion et participe ainsi à l'érosion biologique et écologique des milieux concernés.

Appréhender dans l'espace un réseau écologique, c'est localiser les zones « cœur de vie » (les zones nodales) et identifier les liens qui permettent leur maintien et leur fonctionnement (les continuums et corridors écologiques). La modélisation du fonctionnement écologique peut être réalisée grâce à une analyse spatiale de la répartition / distribution des espèces et des habitats constituant un réseau fonctionnel. Elle peut l'être aussi par une analyse statistique s'appuyant également sur l'organisation du territoire et les liens entre les différents pôles.

Le calcul d'indicateurs à partir des informations sur la mobilité entre les pôles du réseau (coût du déplacement, coefficients de résistance des espaces) permettent de schématiser le nombre d'unités, la densité des concours, la cohésion entre les différents éléments sur réseau... Le logiciel Fragstat a ainsi été testé sur un secteur de Marseille afin d'éprouver ce type de modélisation statistique. Les résultats de cette analyse à orienté la suite de la prestation vers une évaluation spatiale plutôt que statistique.

Cet ouvrage propose également une analyse des bases de données pouvant être exploitées en Région PACA pour réaliser une modélisation des réseaux et le calcul d'indices du paysage.

Des fiches de lecture des références bibliographiques sont proposées en annexe.

*Les tomes 2 et 3 sont consacrés à l'élaboration et au test d'une méthode dynamique et prospective de la fragmentation liée aux projets et aux documents d'urbanisme sur deux territoires de la région PACA, avec atlas cartographique.*

Comité de lecture : François FOUCHIER, Martine GENDRE, Sylvie BASSUEL (DIREN PACA)

<b>1</b>	<b>NOTIONS DE BASE EN ECOLOGIE DU PAYSAGE</b>	<b>9</b>
1.1	Ecologie du paysage	9
1.2	Fragmentation	9
1.3	Matrice paysagère	10
1.4	Corridor	12
1.5	Continuum	13
1.6	Réseau écologique	14
1.6.1	<i>Le réseau écologique paneuropéen</i>	14
1.6.2	<i>Le réseau écologique défini par le bureau d'études ECONAT</i>	15
1.7	Connectivité écologique	16
<b>2</b>	<b>COMMENT CARACTERISER LA FRAGMENTATION DES MILIEUX ?</b>	<b>17</b>
2.1	Comment identifier les éléments des réseaux écologiques ?	18
2.1.1	<i>Les zones nodales</i>	18
2.1.2	<i>Les zones d'extension</i>	18
2.1.3	<i>Les zones de développement</i>	19
2.1.4	<i>Les corridors</i>	19
2.1.5	<i>Les continuums</i>	19
2.2	Quels indicateurs pour évaluer la fragmentation sur les réseaux écologiques ?	23
2.2.1	<i>Le coefficient de résistance</i>	23
2.2.2	<i>Le coût de déplacement</i>	24
2.3	Les indices spatiaux et statistiques	25
2.3.1	<i>Présentation du logiciel FRAGSTAT</i>	25
2.3.2	<i>Présentation des données utilisées pour le test des indices d'écologie du paysage</i>	27
2.3.3	<i>L'indice « nombre d'unités »</i>	30
2.3.4	<i>L'indice de « densité des contours »</i>	31
2.3.5	<i>L'indice de diversité de Shannon</i>	32
2.3.6	<i>L'indice de « zone noyau »</i>	33
2.3.7	<i>L'indice de « cohésion »</i>	33
2.4	Les limites d'utilisation des indices d'écologie du paysage	34
2.5	Disponibilité des données en région PACA	34
<b>3</b>	<b>FICHES DE LECTURE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>38</b>
3.1	COST Transport - Action 341 : Fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transport - Etat de l'art - Rapport de la France	39

3.2	Modeling functional landscape connectivity.....	41
3.3	Landscape indices as measures of the effects of fragmentation : can pattern reflect process ?.....	42
3.4	Quantifying Landscape Spatial Pattern : What is the state of the art ?.....	44
3.5	Research of Ecological Relevancy : A Review of Landscape Fragmentation Metrics and Their Application for the Fundy Model Forest .....	46
3.6	Indices of landscape pattern.....	48
3.7	Infrastructures vertes et bleues – Guide méthodologique – Utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'expression des enjeux de l'Etat dans le cadre d'un SCoT – Application au territoire du Schéma de Cohérence Territoriale Sud-Loire .....	49
3.8	Forest Loss, Habitat Fragmentation, and Wildness – Partie 3 : Analysis of Forest Habitat Fragmentation .	51
3.9	A spatial model to estimate habitat fragmentation and its consequences of long-term survival of animal populations.....	52
3.10	From land cover to landscape diversity in the European Union.....	53
3.11	Méthode d'analyse des données écologiques et biogéographiques - Fragmentation des habitats et méta-populations.....	55
3.12	Méthode d'évaluation stratégique des réseaux de transports, tests pour la mise en évidence des enjeux environnementaux et utilisation d'indicateurs d'évaluation (rapport provisoire).....	57
3.13	Quantitative approaches to landscape spatial planning : clues from landscape ecology.....	59
3.14	Les corridors biologiques en Isère : Projet de Réseau Ecologique Départemental de l'Isère (REDI) .....	61
3.15	Réseau écologique national (REN) – rapport final.....	64
3.16	Réseau maillé d'espaces naturels, agricoles et paysagers : Un système vert pour l'aire urbaine de Lyon..	66
<b>4</b>	<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>68</b>

## Sommaire des figures et cartes

Figure 1 – éléments de base d'une structure paysagère.....	11
Figure 2 – mosaïque paysagère.....	11
Figure 3 – schéma du réseau écologique panaeuropéen.....	14
Figure 4 – schéma du réseau écologique selon ECONAT .....	15
carte 1 : présentation de la zone choisie pour le test du logiciel Fragstat – extraction de la BD Occupation du sol 1999 .....	27
carte 2 : zone test « recodée » pour les besoins d'utilisation du logiciel Fragstat .....	29
carte 3 : visualisation de l'indice « nombre d'unités » avec le logiciel Fragstat .....	30
carte 4 - visualisation de l'indice de « densité de contours » avec le logiciel Fragstat.....	31
carte 5 - visualisation de l'indice de « diversité de Schannon » avec le logiciel Fragstat .....	32
carte 6 - visualisation de l'indice de « zone noyau » avec le logiciel Fragstat .....	33
carte 7 - visualisation de l'indice de « cohésion » avec le logiciel Fragstat .....	33

## Préambule

Depuis l'apparition de l'agriculture et la création des premières cités, l'homme exploite et transforme les systèmes vivants à son profit. Pendant des millénaires, ces transformations sont restées globalement modérées. Mais depuis l'avènement de l'ère industrielle et des énormes capacités d'intervention qu'a autorisées l'utilisation des énergies fossiles, les perturbations sont devenues plus destructrices. A une réduction importante des surfaces d'habitats naturels, s'ajoute un cloisonnement des différents fragments de plus en plus isolés les uns des autres et une dégradation de la qualité des habitats par multiplication des effets de lisière. C'est le phénomène de **fragmentation**.

Les paysages agraires d'Europe de l'Ouest sont caractérisés par des mosaïques de cultures, bois, landes ou prairies, auxquelles se surimposent des réseaux linéaires, naturels ou artificiels (réseau hydrographique, haies et autres bords de champs, voies de transport) et des espaces urbanisés. Au cours des dernières décennies, des transformations profondes, plus ou moins intenses selon les secteurs géographiques, ont affecté à la fois la composition et la structure de ces paysages naturels en liaison avec l'expansion urbaine, la construction d'infrastructures et le phénomène de conurbation qu'elles favorisent, et l'intensification des pratiques agricoles.

Outre les changements d'affectation des sols et la destruction pure et simple d'espaces naturels, la fragmentation des habitats naturels est aujourd'hui reconnue comme une menace majeure pour la biodiversité par la [convention sur la diversité biologique](#) de Rio. La communauté scientifique ([Millennium Ecosystems Assessment](#)) considère notamment que la fragmentation écologique est devenue une des premières causes de la perte de biodiversité, avant la pollution.

Les objectifs de la démarche définie par la DIREN PACA sont les suivants :

1. faire le point sur l'état de l'art en matière de caractérisation et d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels, basée sur une recherche bibliographique. Le CETE Méditerranée a été chargé de réaliser cette partie de la prestation, qui fait l'objet du présent tome 1. Après un rappel des effets de la fragmentation sur la qualité et la viabilité des espèces et de diverses notions d'écologie du paysage, deux méthodes d'évaluation sont abordées en détail : l'approche spatiale et fonctionnelle d'une part, l'approche spatiale et statistique d'autre part ;
2. dégager, à partir de l'étude du territoire de la plaine de Cogolin (83), une méthode simple, à destination des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'études prestataires, permettant de caractériser la fragmentation de l'espace liée aux infrastructures et aménagements. Cette méthode, qui se veut un véritable outil d'aide à la décision, a été testée dans sa dimension prospective sur le territoire de la plaine des Maures (83). Cette étude a été réalisée par une équipe naturaliste (Hervé GOMILA consultant - NATURALIA – GCP Groupe Chiroptères de Provence – Elisabeth LAURIOL, Cartographie et SIG), en collaboration avec le CETE Méditerranée. Les tomes 2 et 3 exposent le principe de la méthode et les cartes qui en résultent.
3. caractériser les critères et les facteurs nécessaires à l'évaluation de la fragmentation en tenant compte des spécificités de la région PACA, remarquable à la fois par la richesse de sa biodiversité et par la forte pression anthropique sur les milieux naturels.



# 1 Notions de base en écologie du paysage

## 1.1 Ecologie du paysage

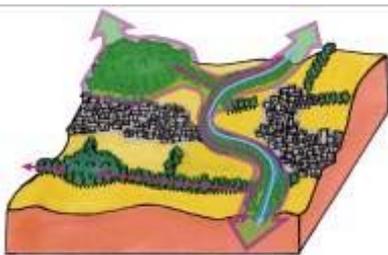
L'organisation des différents éléments d'un paysage conditionne la distribution spatiale des populations.

Combinant approche spatiale et approche fonctionnelle, l'écologie du paysage étudie les interactions entre l'organisation spatiale (hétérogénéité des éléments de base d'un paysage, formes, distribution, distances entre les éléments...) et les processus écologiques.

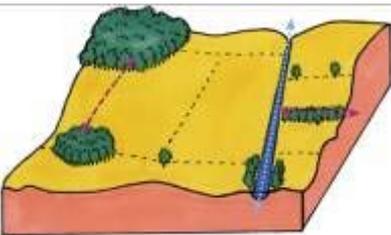
Le terme **paysage** revêt ainsi, en écologie, une acception particulière qui mérite d'être précisée. Burel et Baudry le considèrent comme un « *niveau d'organisation des systèmes écologiques* » supérieur à l'écosystème, et donc d'un niveau de complexité supérieur, à l'échelle d'une entité géographique cohérente. L'écologue parle aussi d'**écocomplexes**, toujours en référence à des systèmes d'écosystèmes (Blandin et Lamotte, 1985).

## 1.2 Fragmentation

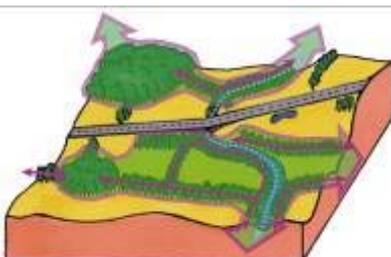
Appliquée aux milieux naturels, la fragmentation désigne **tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace, susceptible d'empêcher une ou plusieurs espèces vivantes de se déplacer ou de se disperser** comme elles le pourraient en l'absence de facteur de fragmentation.



Consommation d'espace



Banalisation / simplification des écosystèmes



Fragmentation isolement

Source : AUDIAR 2005

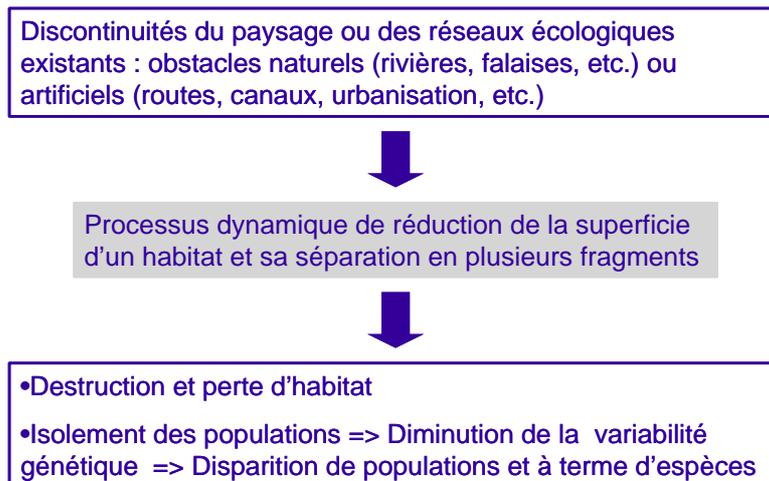
La fragmentation d'un habitat naturel est une forme de destruction qui se double d'une déstructuration spatiale qui (sauf pour quelques espèces ubiquistes et banales) affecte à la fois la taille des populations et leurs possibilités d'échanges, augmentant les risques d'extinction ou de dégénérescence. La fragmentation des habitats s'oppose à la satisfaction des besoins vitaux de la faune et la flore en termes de déplacements, quotidiens ou saisonniers, et de dispersion dans le paysage.

La fragmentation modifie la taille, les formes et l'isolement des habitats naturels, générant un impact sur les fonctions écologiques des éléments ainsi isolés et sur les populations qui leurs sont inféodées.

La fragmentation :

- induit le remplacement d'éléments éco-paysagers par d'autres,
- modifie le contexte spatial, notamment en altérant la connectivité écologique et donc le degré d'intégrité éco-paysagère,
- est un puissant facteur d'isolement écologique de milieux naturels (ou semi-naturels) au sein d'une «matrice» plus «hostile» (car aux conditions environnementales altérées par les activités humaines ou leurs conséquences secondaires),
- par l'insularisation qu'elle provoque, en diminuant les taux de dispersion et d'immigration qui augmente les risques d'extinction,
- modifie les effets-bordure (écotone/effet lisière), plus ou moins en fonction des caractéristiques de la matrice environnante.

Le schéma ci-après caractérise le processus de fragmentation et ses conséquences :



Les individus, les espèces et les populations sont différemment affectés par la fragmentation de leur habitat, selon leurs capacités adaptatives, leur degré de spécialisation ou de dépendance à certaines structures éco-paysagères, leur capacité à voler et franchir les obstacles facteurs de fragmentation (parois, falaises, grillages, routes, zones traitées par des pesticides, etc.), la biologie de leurs populations...

Les données de terrain, comme les analyses diachroniques par exploitation d'images satellitaires, de photographies aériennes ou de cartes anciennes, permettent de quantifier les phénomènes d'artificialisation et de fragmentation par l'urbanisation et les infrastructures linéaires de transport (routes, autoroutes, voies ferrées, canaux, lignes électriques). Les barrages hydroélectriques et certains seuils jouent également un rôle de barrière en segmentant les réseaux fluviaux. D'autres barrières écologiques non-physiques, moins visibles (pollutions par les pesticides, eutrophisation), sont aussi des facteurs majeurs de fragmentation, touchant de vastes espaces.

Les individus, mais aussi les populations, sont confrontés à un nombre croissant de verrous écologiques (barrières physiques ou immatérielles) ou goulots d'étranglement, qui - en fragmentant anormalement les espaces naturels et les écosystèmes - limitent ou interdisent la circulation des individus et le brassage des gènes entre populations au sein de l'aire normale de distribution des espèces, au point de provoquer leur régression et de les menacer à moyen ou long terme.

Même certains animaux volants sont affectés. On a longtemps cru que les oiseaux et chauve-souris échappaient aux impacts de la fragmentation par les routes forestières. Ce n'est pas le cas. En effet, outre certaines espèces directement concernées par les collisions (roadkill), on observe aujourd'hui sur certaines populations d'oiseaux une zone dite d'éloignement, allant jusqu'à plusieurs centaines de mètres, sans pouvoir toujours en identifier la cause avec certitude (bruit, vibrations, lumière).

### 1.3 Matrice paysagère

En écologie du paysage, la matrice paysagère désigne généralement l'**élément dominant d'un paysage** donné, à une échelle donnée (Forman et Godron, 1986). La matrice peut être à dominante naturelle dans des paysages peu artificialisés. Dans les régions fortement anthropisées, la matrice est souvent constituée de milieux artificialisés ou de milieux agricoles, plus ou moins intensifs.

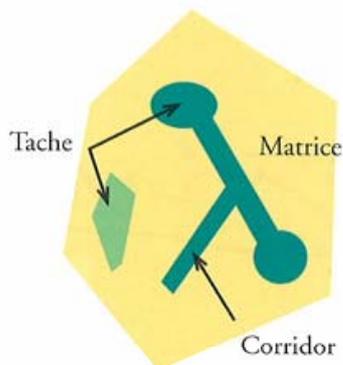
La matrice est un concept théorique, utilisé notamment pour la cartographie et la description des éléments naturels du paysage et l'étude de leurs interrelations : surface, forme, distribution et organisation spatiales. La matrice est une construction de l'esprit pour appréhender la complexité des interrelations entre habitats ou écosystèmes à l'échelle d'un paysage.

Dans une matrice on peut distinguer :

**Taches d'habitat ou unités paysagères (patch) :** Eléments du paysage apparaissant ponctuellement et isolément dans un espace

**Corridors :** Eléments linéaires ou de forme allongée reliant des taches de même habitat

**Matrice :** Espace caractérisé par une apparente uniformité de l'occupation du sol



Schématiquement le paysage apparaît comme un océan (matrice) duquel émergent des îles et îlots d'habitat (taches) reliées aux autres par des ponts (corridors).

Pour les espèces inféodées à un type d'habitat représenté dans une tache, la matrice peut être vue comme un non-habitat, par opposition aux habitats que constituent les taches.

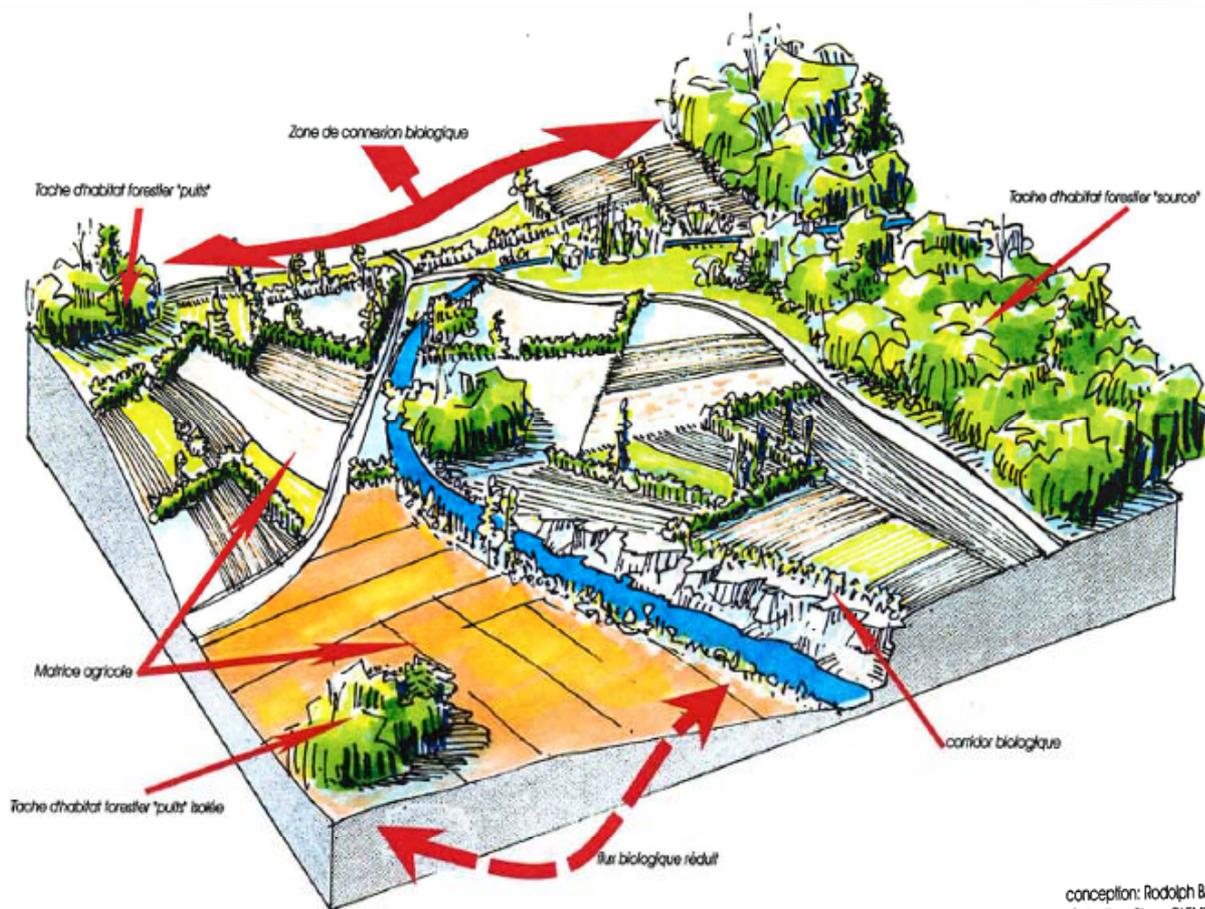
Les éléments de base d'une structure paysagère

Source : SETRA 2005

Figure 1 – éléments de base d'une structure paysagère

## Une autre représentation de l'analyse éco-paysagère

Figure 2 – mosaïque paysagère



## 1.4 Corridor

« *Passage étroit qui met en communication diverses pièces d'une habitation* » mais aussi « *passage étroit entre deux territoires* » (Larousse).

Dans le champ de l'écologie du paysage, le mot corridor désigne, de façon générale, **toute structure paysagère assurant une liaison fonctionnelle entre des écosystèmes ou entre différents habitats d'une espèce ou d'un groupe d'espèces interdépendantes, permettant leurs déplacements, leurs migrations et leur dispersion**. Les corridors permettent les flux de populations et de gènes qui sont vitaux pour la survie des espèces et leur évolution adaptative. Ils sont donc essentiels pour le maintien de la biodiversité et la survie à long terme de la plupart des espèces.

### Fonctions

On tend à distinguer :

- **le corridor biologique**, spécifique à une espèce donnée, y compris du point de vue des échanges génétiques ;
- **le corridor écologique**, structure spatiale multi-fonctionnelle, qui peut rassembler divers corridors biologiques ;
- **le réseau écologique**, ensemble fonctionnel des corridors, aux échelles paysagères et supra-paysagères (ex : ensemble de vallées et cols guidant la migration des oiseaux au travers de continents). L'ensemble (complexe) de ces corridors constitue la trame d'un maillage écologique, qui se décline du local au planétaire.

Les animaux doivent se déplacer, les plantes se disperser et les gènes se brasser pour assurer la croissance et la survie des individus en fonction de la disponibilité en nourriture, l'accomplissement de leur cycle biologique qui se déroule parfois dans des habitats différents, la perpétuation des espèces et l'adaptation continue de la vie aux évolutions du milieu. De nombreuses espèces, végétales notamment, se font transporter par d'autres à l'état de graine ou de propagule.

Vitaux pour la survie, le développement et l'évolution des espèces, les déplacements et les échanges nécessitent des **conditions propres à chaque espèce** ou groupe d'espèces. Ces dernières ayant des exigences différentes, un corridor fonctionnel pour une espèce A peut être une barrière pour une autre espèce B (ex : fleuve).

Il est possible que, dans un contexte de modifications climatiques, la disponibilité en corridors soit encore plus cruciale pour la survie de nombreuses espèces. A contrario, la présence de corridors peut aussi favoriser la dispersion d'espèces indésirables envahissantes ou de maladies.

Le corridor biologique est souvent lui-même un milieu vivant, habité par des espèces et défini par des caractéristiques géomorphologiques et physiques. Il peut aussi être « immatériel » (odeur de l'eau guidant le saumon dans la mer vers la source de sa rivière natale). Dans tous les cas, ce sont bien les **fonctionnalités** qu'il assure pour les espèces qui justifient son appellation.

**Les corridors biologiques remplissent diverses fonctions vis-à-vis des espèces qui les utilisent :**

- **Déplacement** : déplacements quotidiens entre zones de gagnage, de repos, déplacements saisonniers nécessaires à l'accomplissement du cycle biologique, migrations
- **Dispersion** : dissémination des espèces animales, végétales et micro-organismes
- **Habitat** : Le corridor peut être un habitat où certaines espèces effectuent l'ensemble de leurs cycles biologiques, ou un refuge temporaire
- **Filtre** : Ce qui est favorable à une espèce ne le sera pas forcément pour d'autres. Un corridor peut conduire une espèce et en bloquer une autre.
- **Source** : Le corridor peut lui-même constituer un réservoir d'individus colonisateurs...
- **Puits** : ...ou à l'inverse, constituer pour certaines espèces un des espaces colonisé par une (des) population(s) source(s) à la périphérie des espaces sources ou de la matrice paysagère.

## *Morphologie*

En ce qui concerne leur **forme**, les corridors peuvent se présenter sous forme de :

- **structures linéaires**
- **structures gué** (successions d'îlots, de micro-structures relais suffisamment proches pour constituer un ensemble fonctionnel)
- espaces étroits, liés à la présence d'une **structure de guidage majeur** (haies, bords de ruisseaux, lisières forestières, etc.)
- voire espaces de la matrice **libres d'obstacles** offrant des possibilités d'échanges entre les zones nodales et/ou les zones de développement

On peut souligner le rôle particulier des barrières montagneuses, qui concentrent certains flux migratoires le long des vallées et vers les cols.

### *Caractéristiques spécifiques de certains corridors*

Au-delà de ses caractéristiques morphologiques, un corridor est surtout défini par un ensemble de «conditions favorables» à la vie et à la circulation des espèces, et donc au maintien de la biodiversité. Certains facteurs longtemps considérés comme secondaires, ont néanmoins une grande importance :

#### **Corridor thermo-hygrométrique**

Les mesures conjointes de température et d'humidité montrent que l'effet de tranchée (créé par exemple par une route traversant une forêt ou une prairie) ou de simples effets de lisières (ex : en bordure d'une coupe à blanc) peuvent se traduire par des chutes importantes et durable de l'hygrométrie et une forte augmentation des écarts de température (ainsi que de luminosité et de vent), avec des impacts qui ont longtemps été très sous-estimés. Or, Les corridors thermo-hygrométriques, invisibles à nos yeux sont d'une importance primordiale pour nombre d'espèces très sensibles à ces paramètres.

#### **Corridor « de noir »** (c'est-à-dire exempt de pollution lumineuse)

Depuis 3,7 milliards d'années, l'activité biologique de la flore et de la faune est régulée par une horloge interne hormonale calée sur l'alternance du jour et de la nuit (rythme nyctéméral). Éclairer certaines espèces à des moments où elles ne le sont pas normalement entraîne de profondes modifications de leur comportement (ex : les volailles pondent en plein hiver). Une grande partie des espèces vivant ou se déplaçant de nuit sont lucifuges (fuient la lumière), notamment chez les invertébrés. Pour d'autres les lampes sont au contraire une source fatale d'attraction. On peut parler pour ces espèces de besoin d'intégrité de l'environnement nocturne. Dans les deux cas la lumière est un facteur (immatériel) de fragmentation de leur habitat. Ces espèces ont besoin de corridors écologiques plongés dans l'obscurité la nuit. De plus, à cause de leurs yeux plus sensibles, les espèces nocturnes sont souvent très sensibles à l'éblouissement.

#### **Corridor d'air propre**

La qualité de l'air, vis à vis des pesticides notamment, est un facteur déterminant voire majeur pour de nombreuses espèces (invertébrés notamment). Il faut donc favoriser des couloirs d'air propre sur les corridors biologiques. C'est un des rôles dévolus aux zones tampon, mais dans les cas des pesticides et des nitrates, ou de l'ozone une pollution de fond circule sur de vastes superficies, qu'il convient de réduire à la source, tant que faire se peut.

#### **Corridor de calme**

Si quelques espèces commensales de l'homme sont peu sensibles au dérangement, notamment au bruit ou à la présence humaine, ce n'est pas toujours le cas, en particulier pour les animaux chassés depuis longtemps.

## 1.5 Continuum

Ensemble constitué d'éléments offrant une continuité fonctionnelle, disposés de telle façon qu'une espèce (ou un groupe d'espèces ayant les mêmes exigences) peut passer de l'un à l'autre sans rencontrer d'obstacle.

Plusieurs types de continuums correspondent aux grands types d'habitats :

- **continuum forestier** : forêt, bois, zones arborées ou buissonnantes et leurs lisières-écotones le cas échéant
- **continuum agricole extensif** : bocages, pâturages, prairies (voire zones d'agriculture biologique convenant à certaines espèces)
- **continuum prairial** : prairies, bocages, cultures isolées, vergers
- **continuum paludéen (zones humides)** : prés de fauches et prairies inondables, cultures en zones alluviales, mangroves..
- **continuum hygrophile ou aquatique** : réseau des cours d'eau et de leurs annexes fonctionnelles (bras morts, ripisylves), mares et plans d'eau (parfois qualifié de trame bleue)
- **continuum littoral** (estuaires, deltas, vasières, dunes...)

Certains éléments du paysage appartiennent à plusieurs continums : c'est le cas des ripisylves qui relèvent à la fois du continuum hygrophile et du continuum forestier. Le bocage, notamment arboré, complète et étend considérablement le continuum forestier pour nombre d'espèces.

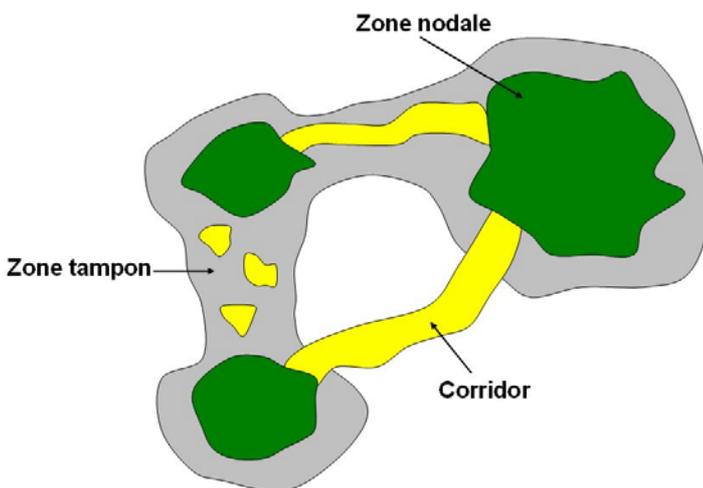
## 1.6 Réseau écologique

Un réseau écologique est :

« un assemblage cohérent d'éléments naturels et semi-naturels du paysage qu'il est nécessaire de conserver ou de gérer afin d'assurer un état de conservation favorable des écosystèmes, des habitats, des espèces et des paysages ».

Plusieurs interprétations sont apparues au cours des recherches sur le sujet.

### 1.6.1 Le réseau écologique paneuropéen



Défini dans le cadre de la [stratégie paneuropéenne pour la diversité biologique et paysagère](#), le [réseau écologique paneuropéen](#) se caractérise par un ensemble de nœuds (ou pôles) reliés entre eux par des liens (canaux). Les nœuds peuvent être des points massiques simples ou des sous-réseaux complexes. Les liens sont à leur tour des flux de force, d'énergie ou d'information.

Le schéma suivant a été retenu

Figure 3 – Schéma du réseau écologique paneuropéen

Sur le Cahier de l'environnement N° 373, REN, le réseau écologique paneuropéen (REP) se définit comme étant constitué de :

- **zones nodales**, correspondant à des espaces naturels de haute valeur du point de vue de la biodiversité, dans lesquelles se trouvent des espèces et/ou des écosystèmes particuliers. Ces zones nodales doivent assurer le rôle de **réservoir** pour la conservation des populations et pour la dispersion des espèces vers les autres espaces vitaux potentiels ;
- **zones tampons** visant à protéger une zone nodale des effets d'une gestion perturbatrice des zones périphériques ;

- **zones de restauration** dans les paysages fragmentés ou dégradés permettant d'améliorer les potentialités de conservation des zones nodales ou de favoriser les liaisons entre les espaces vitaux ;
- **corridors biologiques** qui sont les éléments de liaison fonctionnels entre les écosystèmes ou entre les différents habitats des espèces permettant à ces derniers de se déplacer. Ils correspondent souvent à des structures linéaires assurant principalement les échanges génétiques et physiques des espèces entre les zones nodales.
  - Espaces étendus permettant le déplacement sans risque (chemin le plus court entre 2 milieux favorables)
  - Espaces étroits liés à la présence d'une structure de guidage majeur (haies, bords de ruisseaux, lisières forestières, etc.)
  - Matrice paysagère riche en microstructures (bocages, jardins en zones résidentielles, espaces agricoles extensifs, etc.)

Les définitions varient selon les sources ; sur le site du Sénat les termes sont ainsi définis :

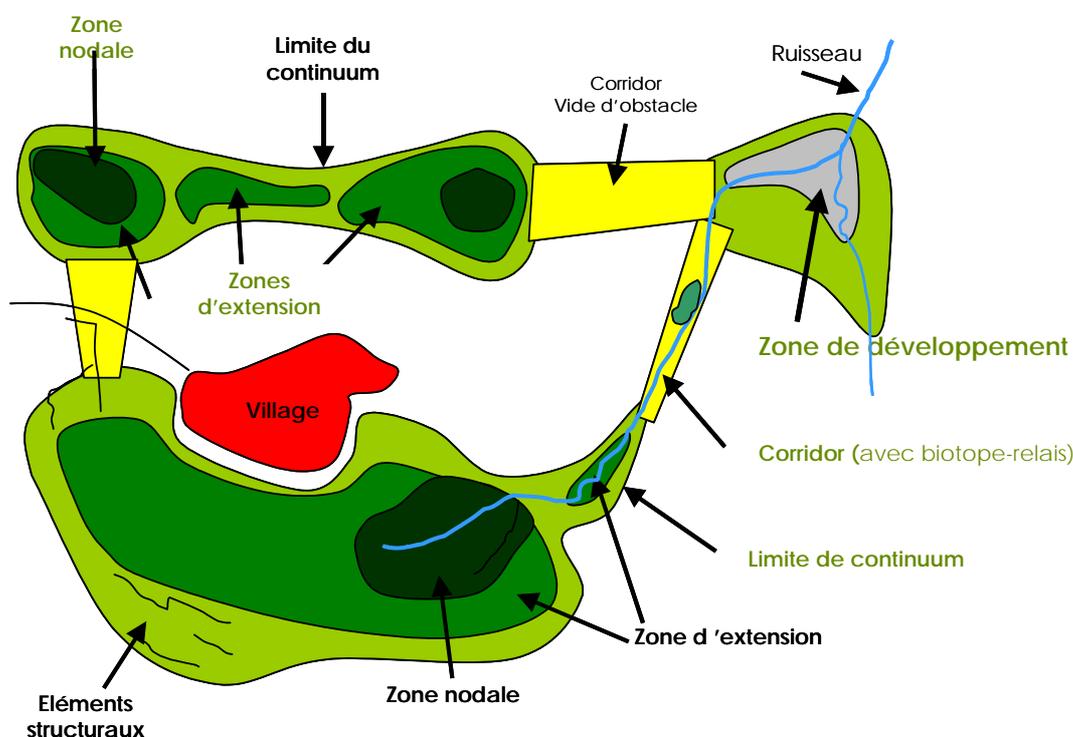
**Noyau** : site d'intérêt écologique national ou supranational

**Zone tampon** : territoire périphérique des « noyaux » et des « corridors » nécessitant certaines mesures de gestion pour leur permettre de remplir leurs fonctions

**Corridor** : liaison entre deux « noyaux » qui a pour finalité « d'assurer aux populations d'importance européenne, les possibilités adéquates de dispersion, de migration et d'échanges génétiques ».

## 1.6.2 Le réseau écologique défini par le bureau d'études ECONAT

Le schéma suivant est issu des travaux réalisés sur le réseau écologique national suisse et le [réseau écologique départemental d'Isère](#) par le bureau d'étude ECONAT, précurseur en la matière.



© ECONAT Yverdon-les-Bains & PIU Wabern

Figure 4 – schéma du réseau écologique selon ECONAT

Les termes identifiés dans le schéma ont pour définition :

*Sources : Les corridors biologiques en Isère, Projet REDI, Conseil Général de l'Isère, ECONAT, sept. 2001 & Cahier de l'environnement N° 373, REN, rapport final, OFEFEP (Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage), ECONAT, 2004*

**Zones nodales** (zone noyau, zone source, zone réservoir) correspondant à des milieux favorables à un groupe écologique végétal et animal et constituant des espaces vitaux suffisants pour l'accomplissement de toutes les phases de développement d'une population.

**Zones d'extension** similaires aux zones nodales mais de qualité ou de surface insuffisantes pour l'accomplissement de toutes les phases de développement d'une population. Les zones d'extension sont incluses dans le même continuum que les zones nodales ;

**Zones de développement** correspondant à l'ensemble des milieux favorables à un ou plusieurs groupes écologiques végétaux et animaux, elles constituent des espaces vitaux partiellement suffisants pour l'accomplissement des phases de développement d'une population mais dans lesquelles des zones nodales ne sont pas identifiées. Elles sont situées hors d'un continuum fonctionnel car peu accessible par l'éloignement ou par la présence d'obstacles difficilement franchissables. Elles peuvent être incluses dans un corridor de connexion et jouer le rôle important de biotope-refuge ou de structure-guide dans les corridors.

**Corridor écologique** (corridors à faunes) sont des espaces hors continuum, libres d'obstacles, offrant en priorité des possibilités d'échanges entre les zones nodales et/ou de développement.

Une autre notion transparaît dans ce schéma, il s'agit de la **continuité écologique**. La continuité écologique se définit par la libre circulation des espèces biologiques et, dans le cadre des cours d'eau, par le bon déroulement du transport naturel des sédiments.

## 1.7 Connectivité écologique

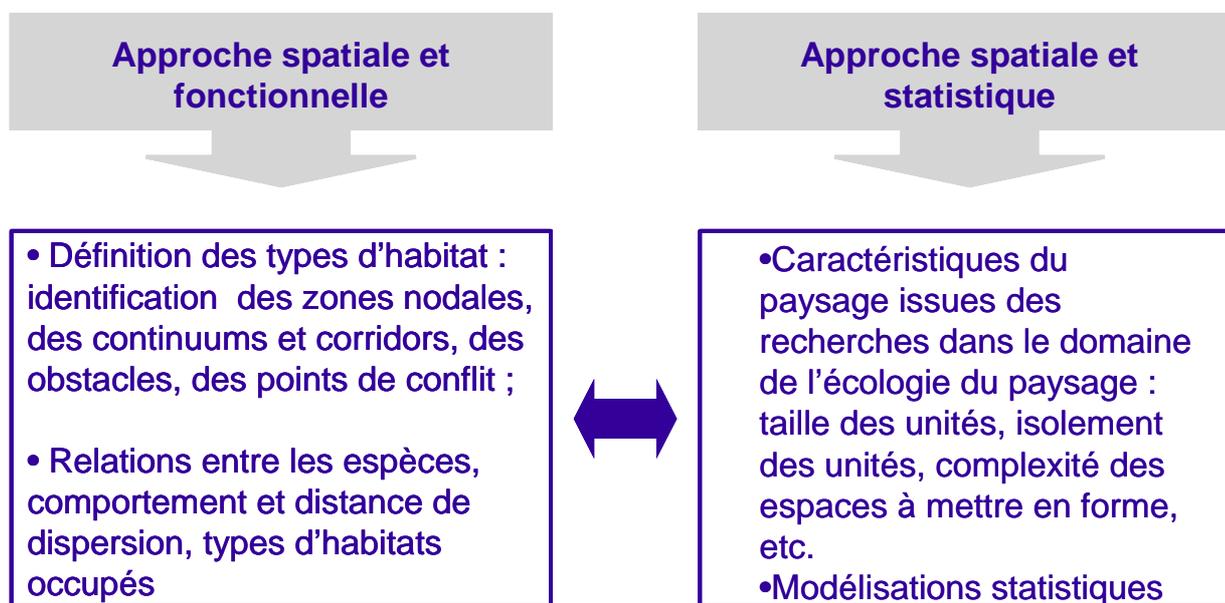
La connectivité exprime globalement la capacité d'un paysage à assurer la satisfaction des besoins de déplacements des espèces entre les différents éléments qui le composent, par l'existence d'un maillage paysager diversifié. La connectivité diminue quand la fragmentation (multiplication des barrières, des obstacles aux déplacements et à la dispersion) augmente.

Une connectivité élevée et un maillage complexe comptent pour beaucoup dans la capacité de résilience des habitats dégradés par recolonisation à partir des zones sources ou zones nodales.

## 2 Comment caractériser la fragmentation des milieux ?

Ce chapitre résume diverses méthodes d'évaluation de la fragmentation.

Deux grands types d'approches peuvent être mobilisées pour appréhender la fragmentation des milieux, séparément ou combinées.



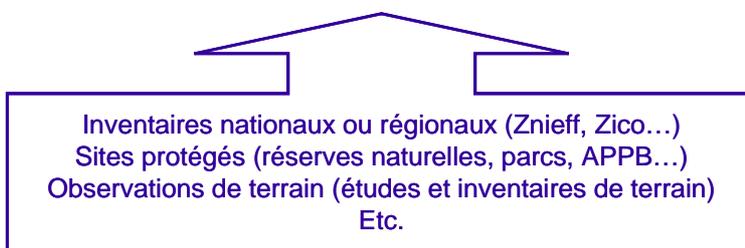
L'**approche spatiale et fonctionnelle** est issue des travaux effectués par le bureau d'études ECONAT, notamment sur le réseau écologique national suisse et le réseau départemental de l'Isère. Elle fait référence aux notions développées dans le chapitre précédent et fait appel à des analyses par photo-interprétation et à des enquêtes terrains sur les points de conflits. Il s'agit dans ce cadre d'avoir une approche appliquée au terrain, complétée de données historiques disponibles.

L'**approche spatiale et statistique** est issue des réflexions et recherches dans le domaine de l'écologie du paysage. Ces dernières ont fait l'objet de modélisations au travers de logiciels informatiques, dont FRAGSTAT, testé sur un secteur dans le cadre de la présente étude. Ce test avait pour objectif de visualiser les différents indices statistiques qui ont été mis au point par les universitaires.

## 2.1 Comment identifier les éléments des réseaux écologiques ?

### 2.1.1 Les zones nodales

**Zone nodale = Zone source = Zone réservoir**

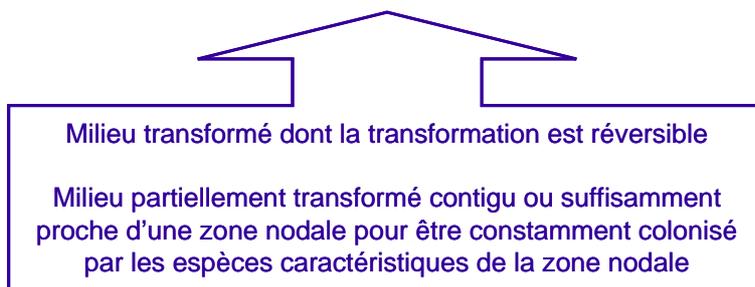


Concernant les zones nodales les plus importantes, des inventaires voire des protections ont permis d'en préciser le niveau d'intérêt.

Néanmoins, dans le cadre d'une évaluation environnementale, il est important de faire préciser à la fois leur délimitation, leur fonctionnement et leur contenu en termes écologiques.

### 2.1.2 Les zones d'extension

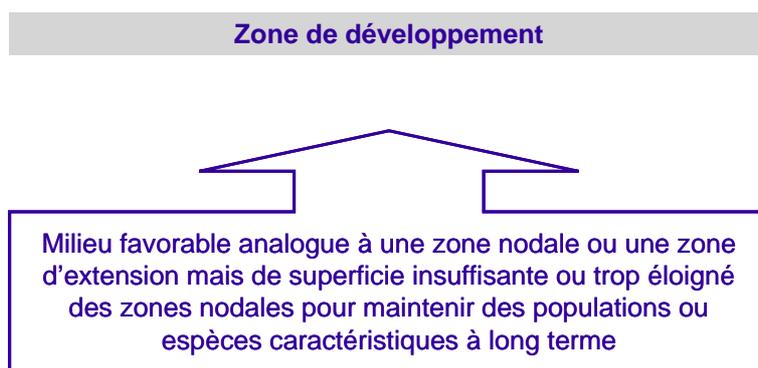
**Zone d'extension**



Les zones d'extension sont déterminées à partir des milieux transformés dont la transformation est réversible (ex. : ruisseau canalisé, forêt plantée de résineux en plaine) ou à partir de milieux partiellement transformés, contigus ou suffisamment proches d'une zone nodale pour être constamment colonisés par les espèces caractéristiques de la zone nodale.

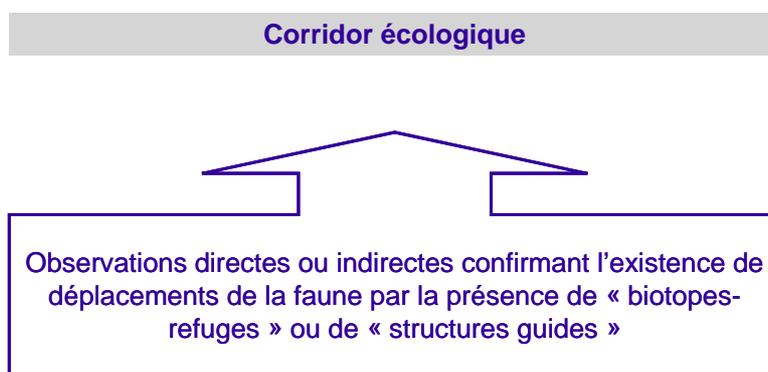
Ces zones peuvent éventuellement être identifiées dans les inventaires nationaux par extrapolation des zones nodales ou en référence à leur proximité. Là encore des inventaires de terrain mis en œuvre lors des évaluations environnementales permettent de préciser le niveau d'atteinte des milieux et leur possibilité de résilience (retour à l'identique avant perturbation ou destruction).

### 2.1.3 Les zones de développement

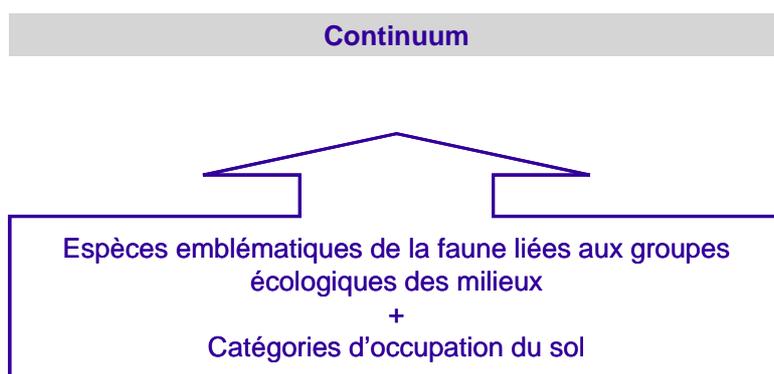


De même que pour les zones d'extension, les zones de développement peuvent être identifiées à partir des différents inventaires existants. Néanmoins, une expertise est nécessaire pour distinguer les zones dites « nodales » des zones de « développement ».

### 2.1.4 Les corridors



### 2.1.5 Les continuums



La caractérisation de ces continuums est liée expressément aux secteurs géographiques dans lesquels ils se trouvent. Ainsi, par exemple, sur les travaux réalisés dans le cadre de la définition des réseaux écologiques départemental de l'Isère (à gauche) et national de Suisse (à droite) on trouve les continuums suivants :

Plusieurs types de continuum	
<b>REDI</b>	<b>REN Suisse</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Continuums des forêts de basse altitude &lt; 1400 m</li> <li>2. Continuums des forêts et pâturages d'altitude &gt; 1400 m</li> <li>3. Continuums des surfaces agricoles extensives</li> <li>4. Continuums aquatiques et des zones humides</li> <li>5. Continuums des zones thermophiles</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Continuums forestiers de basse altitude &lt; 1200 m</li> <li>2. Continuums forestiers de montagne &gt; 1200 m</li> <li>3. Continuums agricoles extensifs</li> <li>4. Continuums prairiaux thermophiles</li> <li>5. Continuums des zones humides</li> <li>6. Continuums aquatiques</li> </ol>

Le **REDI** (Réseau Ecologique du département de l'Isère) identifie 5 continuums, chacun caractérisés par les types d'occupation du sol CORINE Land Cover s'y reportant et les espèces emblématiques de la faune liées à ces derniers :

#### Continuum des forêts de basse altitude (< 1400 m)

- milieux : forêts de feuillus, forêts de conifères, forêts mélangées, forêts et végétations arbustives
- espèces emblématiques : ongulés notamment chevreuil et sanglier

#### Continuum des forêts et pâturages d'altitude (> 1400 – 2500 m)

- milieux : forêts de feuillus, forêts de conifères, forêts mélangées, forêts et végétations arbustives, pelouses et pâturages naturels
- espèces emblématiques : ongulés notamment cerfs et chamois

#### Continuum aquatiques et des zones humides

- milieux : cours et voies d'eau, plages de sable et graviers, marais intérieur
- espèces emblématiques : batraciens, odonates, reptiles aquatiques

#### Continuum des zones thermophiles

- milieux : landes et broussailles, végétation sclérophylle, végétation clairsemée
- espèces emblématiques : orthoptères et reptiles thermophiles

#### Continuum des surfaces agricoles extensives

- milieux : vergers et petits fruits, prairies semées, systèmes culturels complexes, territoires principalement agricoles, territoires agro-forestiers
- espèces emblématiques : lièvre, perdrix

Le REN (réseau écologique national Suisse) identifie 5 continuums élémentaires :

### Continuums forestiers

=> continuums forestiers de basse altitude (< 1200 m)

- milieux : forêts, zones arborées ou buissonnantes, prairies et cultures proches des lisières
- espèces emblématiques : chevreuils, sangliers

=> Continuums forestiers de montagne (> 1200 m)

- milieux : forêts, zones arborées ou buissonnantes, prairies et cultures proches des lisières, pâturages d'altitude
- espèces emblématiques : chamois, cerfs, téttras

### Continuums agricoles extensifs

- milieux : milieux agricoles diversifiés, prairies, pâturages et bocages
- espèces emblématiques : mustélidés, hérissons, musaraignes, campagnols

### Continuums prairiaux thermophiles

- milieux : prairies, pâturages, cultures isolées, vergers et bocages, situés essentiellement sur l'adret de l'étage collinéen
- espèces emblématiques : chiroptères, hirondelles

### Continuums des zones humides

- milieux : milieux liant les ruisseaux, les marais, les prairies, et cultures en zones alluviales
- espèces emblématiques : reptiles xérophiles, orthoptères, lépidoptères, reptiles méso-hydrophiles, batraciens, chiroptères, hirondelles

### Continuums aquatiques

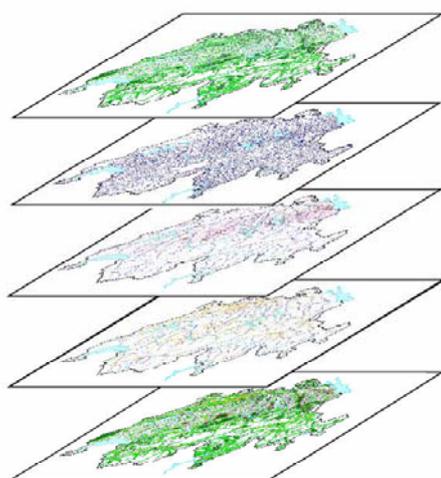
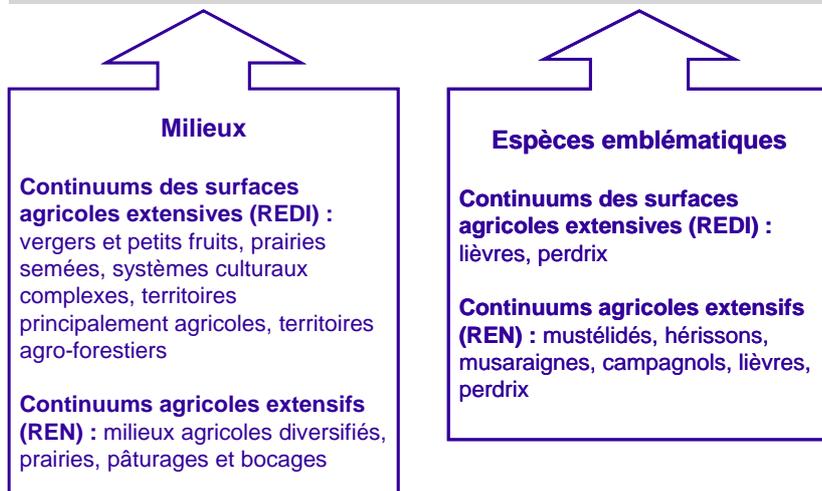
- milieux : cours d'eau, plans d'eau divers du réseau hydrographique
- espèces emblématiques : insectes et oiseaux aquatiques, odonates, castors, poissons, crustacés

**Les formations écotonales qui réunissent des éléments structuraux linéaires**, tels que les lisières forestières, les haies, les talus, les berges de cours d'eau et les pieds de coteaux, sont considérées comme les éléments polyvalents des continuums décrits ci-avant. Elles y sont donc incluses ; autrement dit, un mme élément peut appartenir à plusieurs continuums..

Il va sans dire que la détermination des continuums reste du domaine de l'expert écologue, qui croisera à la fois l'occupation du sol et les espèces faunistiques pour lesquelles il souhaite porter une attention particulière.

On peut définir en parallèle des continuums liés aux milieux (occupation du sol) et des continuums déterminés en fonction des espèces que l'on veut mettre en avant (emblématiques, puits, représentatives, patrimoniales...).

### Exemples de continuums



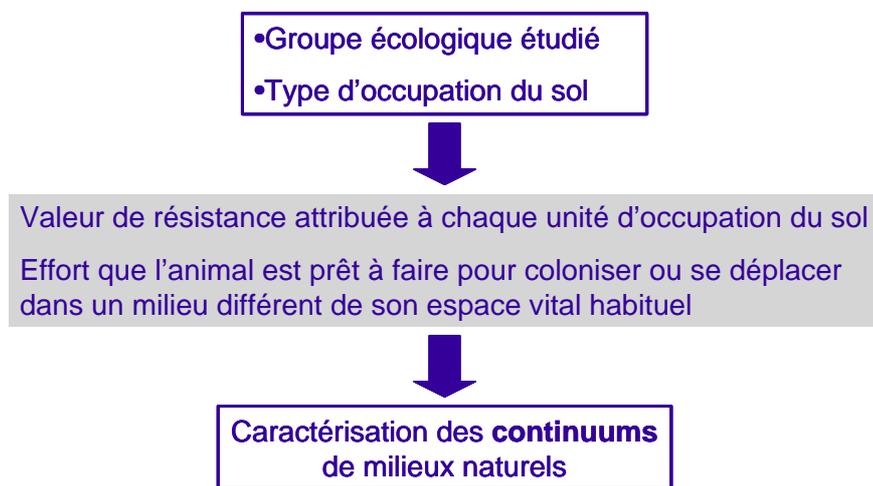
**Réseau écologique global**  
=  
**Superposition des continuums**

(échelle 1 : 500 000)

## 2.2 Quels indicateurs pour évaluer la fragmentation sur les réseaux écologiques ?

Dans le cadre de l'identification et de la caractérisation des réseaux écologiques, ont été définies deux notions, coefficient de résistance et coût de déplacement, afin de modéliser les flux et efforts de déplacements des espèces pour chacun des continuums. L'objectif de cette approche est de pouvoir localiser les points de conflits d'une part, et les secteurs devant être absolument protégés et maintenus dans leur fonctionnement actuel, d'autre part.

### 2.2.1 Le coefficient de résistance



Echelle à 4 niveaux (REN) : 0 = nul, 5 = faible, 30 = moyen, 100 = fort (obstacle considéré comme statistiquement infranchissable par la majorité de la faune)

Pour chaque type de continuum, des coefficients de résistance aux déplacements de la faune sont appliqués. L'exemple ci-dessous présente les coefficients de résistance de chaque milieu représentatif du paysage pour les espèces emblématiques appartenant au continuum des forêts de basse altitude (REDI).

Groupe de milieux représentatifs du paysage	Forêts de basse altitude
Forêts < 1400 m (forêts de feuillus, conifères, mélangées, végétation arbustive)	0
Forêts > 1400 m (forêts de feuillus, conifères, mélangées, végétation arbustive)	5
Lacs, étangs (plans d'eau)	30
Cours d'eau, zones humides et végétation riveraine (cours et voie d'eau, plages sable et graviers, marais intérieurs)	5
Prairies, landes et broussailles < 1400 m (pelouses et pâturages naturels, landes et broussailles, végétation sclérophylle et clairsemée)	5
Prairies, landes et broussailles > 1400 m (pelouses et pâturages naturels, landes et broussailles, végétation sclérophylle et clairsemée)	30
Surfaces agricoles extensives (vergers et petits fruits, prairies semées, systèmes culturels complexes, territoires principalement agricole et agro-forestiers)	5
Surfaces agricoles intensives (terres arables, vignobles, cultures annuelles / permanentes)	30
Glaciers, rochers (roches nues, glaciers et neiges éternelles)	100
Surfaces construites, zones d'activités, infrastructures de transport (tissu urbain continu et discontinu, zones industrielles / commerciales, réseaux routiers / ferroviaires, aéroports)	100
Zones d'activités (extraction de matériaux, décharges, chantiers, espaces verts urbains, équipements sportifs / loisirs)	30

## 2.2.2 Le coût de déplacement

C'est un algorithme de calcul permettant d'obtenir un « coût potentiel de dispersion » d'un animal symbolique se déplaçant dans un paysage. Cet algorithme de calcul « coût de déplacement » permet d'obtenir l'extension potentielle des continuums dans le paysage analysé.

Il représente l'effort virtuel de déplacement de l'animal. Il est calculé :

- à partir d'un maillage du paysage (l'animal est supposé se déplacer de maille en maille)
- en partant des zones nodales cartographiées

Le coût de déplacement est obtenu en additionnant le produit de la distance parcourue par une espèce emblématique avec un coefficient de résistance du milieu au déplacement fixé en fonction du type d'occupation du sol des zones adjacentes.

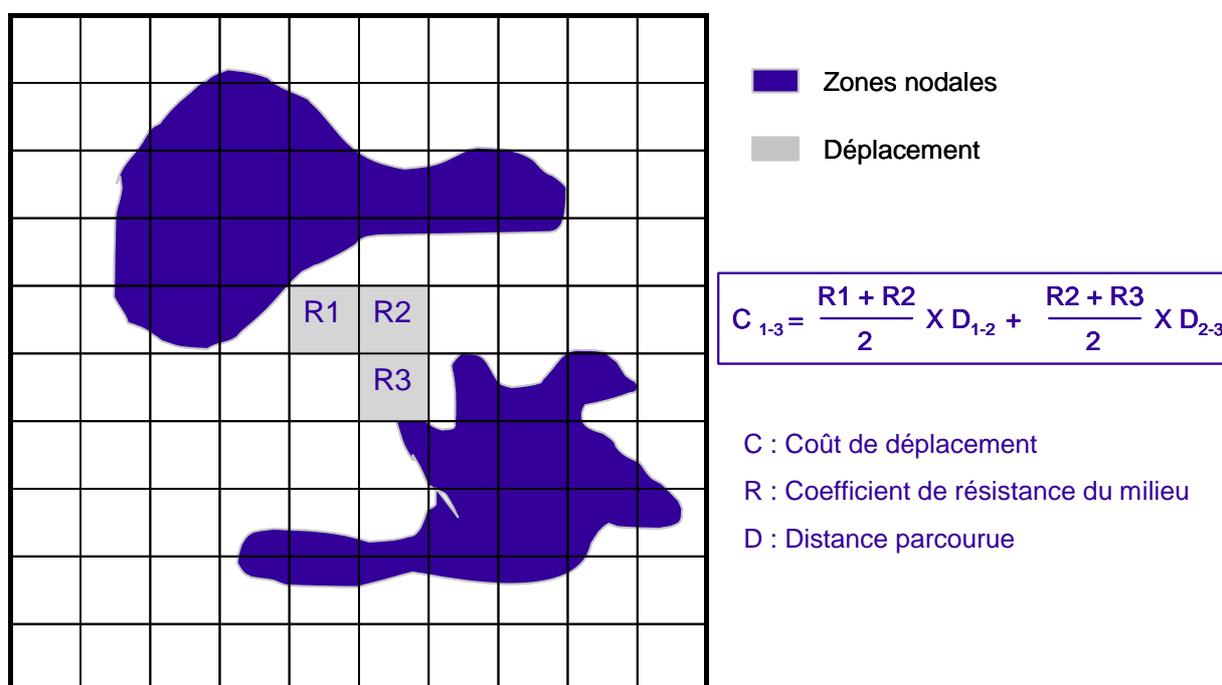
Le REN et le RED1 utilisent un maillage de 100 mètres considéré comme suffisant pour une définition sommaire des continuums.

La limite supérieure pour la délimitation d'un continuum est fixée à 3000 points. Cela signifie par exemple, que pour une espèce appartenant au groupe « forêts de basse altitude », le continuum en zone agricole intensive (cf. paragraphe précédent) ( $R = 30$ ) sera au maximum de 100 mètres de large.

$(0+30)/2 * 100 = 1500 < 3000 \Rightarrow$  accepté

$(0+30)/2 * 100 + (30+30)/2 * 100 = 4500 \Rightarrow$  refusé

Le schéma ci-dessous présente le principe :



## 2.3 Les indices spatiaux et statistiques

**En écologie du paysage, les indices s'attachent à décrire chaque unité (« patch ») ou élément de paysage et les relations spatiales entre ces différentes unités. Ils peuvent être répartis en trois classes : les indices de composition, les indices de forme et les indices de configuration.**

Ils sont relatifs à la taille, au nombre et à la densité des unités. Les indices peuvent se calculer sur le périmètre de chaque unité, le périmètre total de toutes les unités appartenant à la même classe, la fréquence d'unités adjacentes, le contraste entre une unité et ses voisins, etc.

La plupart des indices de forme utilisent le rapport périmètre / surface (Forman and Godron, 1986 ; Milne, 1991 ; Riitters and all, 1995). Un indice largement utilisé permet de déterminer les zones noyau (« core area ») en s'intéressant à la fois à la taille des unités et à leur forme (voir ci-après). La distance de la zone noyau aux bords du reste de l'unité reste à déterminer, celle-ci est habituellement déterminée au regard du contraste et de l'orientation du bord adjacent au noyau (Baskent et Jordan [1995], Ripple et al. [1991] décrivent des techniques utilisées pour déterminer la zone noyau). Les indices d'« interspersion » et de juxtaposition (McGarigal and Marks, 1995) mesurent l'étendue avec laquelle les types d'unités sont répartis. L'indice d'isolement calcule la distance entre une unité et les unités les plus proches appartenant à la même classe. L'indice de contagion permet à la fois de quantifier la composition et la configuration (O'Neill and all, 1988a) en mesurant l'importance avec laquelle les pixels d'une même classe sont agrégés.

Pour plus de détail on se reportera au résumé de l'article : Landscape indices as measures of the effects of fragmentation : can pattern reflect process ? dans le chapitre 4.

Pour les besoins de cette étude nous avons choisi de tester le logiciel Fragstat, distribué gratuitement, et développé par des universitaires. Ce logiciel propose d'effectuer plusieurs indices statistiques à partir de la modélisation des relations entre les éléments de l'écologie du paysage (zones nodales, zones vecteurs, obstacles...).

**Les indices retenus pour tester le logiciel sont ceux qui se prêtent à une représentation cartographique, car l'objectif est de faire le point sur les méthodes d'évaluation de la fragmentation qui pourraient être recommandées à des maîtres d'ouvrage de projets d'infrastructure, d'aménagement ou de documents de planification. La visualisation de ces indices est un critère important pour pouvoir ensuite expliquer les résultats obtenus.**

### 2.3.1 Présentation du logiciel FRAGSTAT

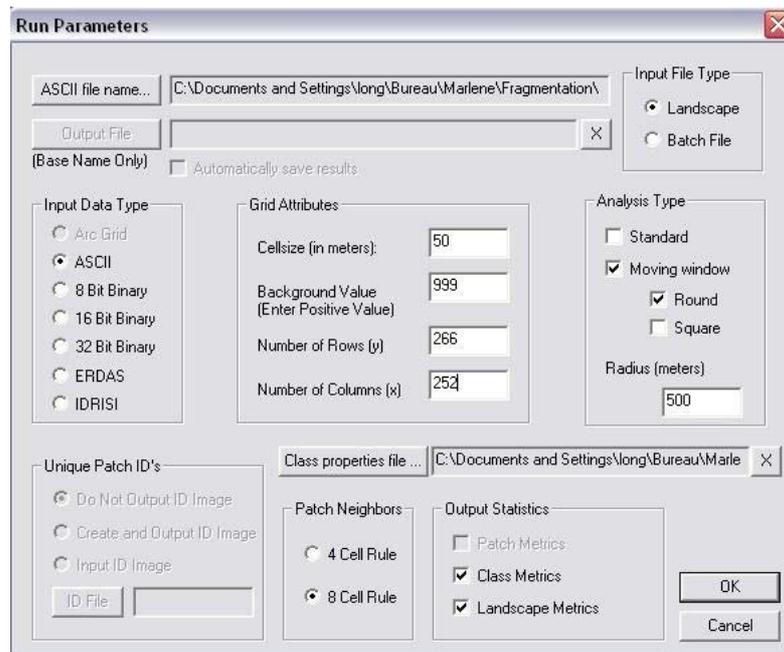
Ce logiciel a été développé par McGarigal, K., S.A.Cushman, M.C.Neel, and E.Ene. 2002 et est téléchargeable sur le site Internet [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html)

Le logiciel permet de travailler à partir de la définition « d'un réseau écologique » (interprétation de l'occupation du sol) au format ASCII. Après avoir défini les paramètres du fichier sur lequel les calculs vont être réalisés (taille du pixel, nombre de lignes, nombre de colonnes) et le type d'analyse à effectuer (analyse à partir d'une fenêtre glissante, taille de la fenêtre), on peut sélectionner les indices à calculer.

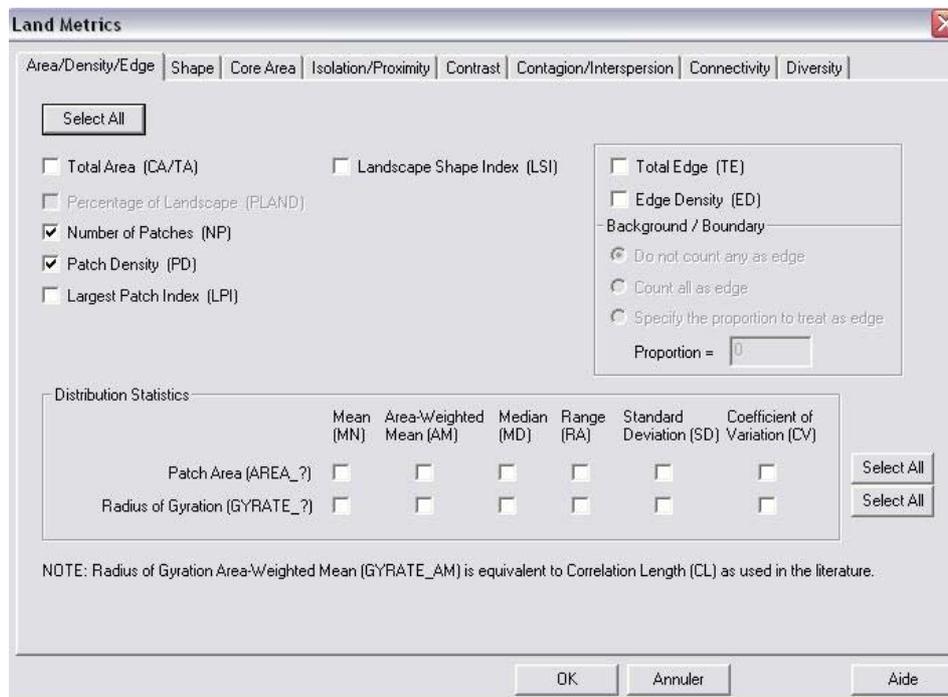
Un travail préalable de paramétrage doit donc être réalisé avant de pouvoir solliciter les indices de ce logiciel. Ce travail reste du domaine de l'expert, qui doit « coder » les éléments d'occupation du sol selon des classes. Ces dernières font référence aux éléments d'écologie du paysage que l'on définira comme simplifiés, puisque ceux-ci n'aborde pas la totalité de la palette des notions décrites dans le chapitre précédent.

Ainsi, on peut avoir les classes suivantes :

1. Surfaces en eau (mer, plans d'eau),
2. Zones nodales (espaces forestiers et végétation arbustive),
3. Zones vecteur (espaces agricoles ou végétalisés pouvant être empruntés par la faune – continuums),
4. Obstacles (espaces urbains, espaces industriels, zones d'exploitation minière et infrastructures linéaires),
5. Espaces neutres (espaces sans obstacle, ne constituant pas de continuums et pouvant être empruntés par la faune).



Le logiciel FRAGSTATS permet de calculer divers indices d'écologie du paysage.

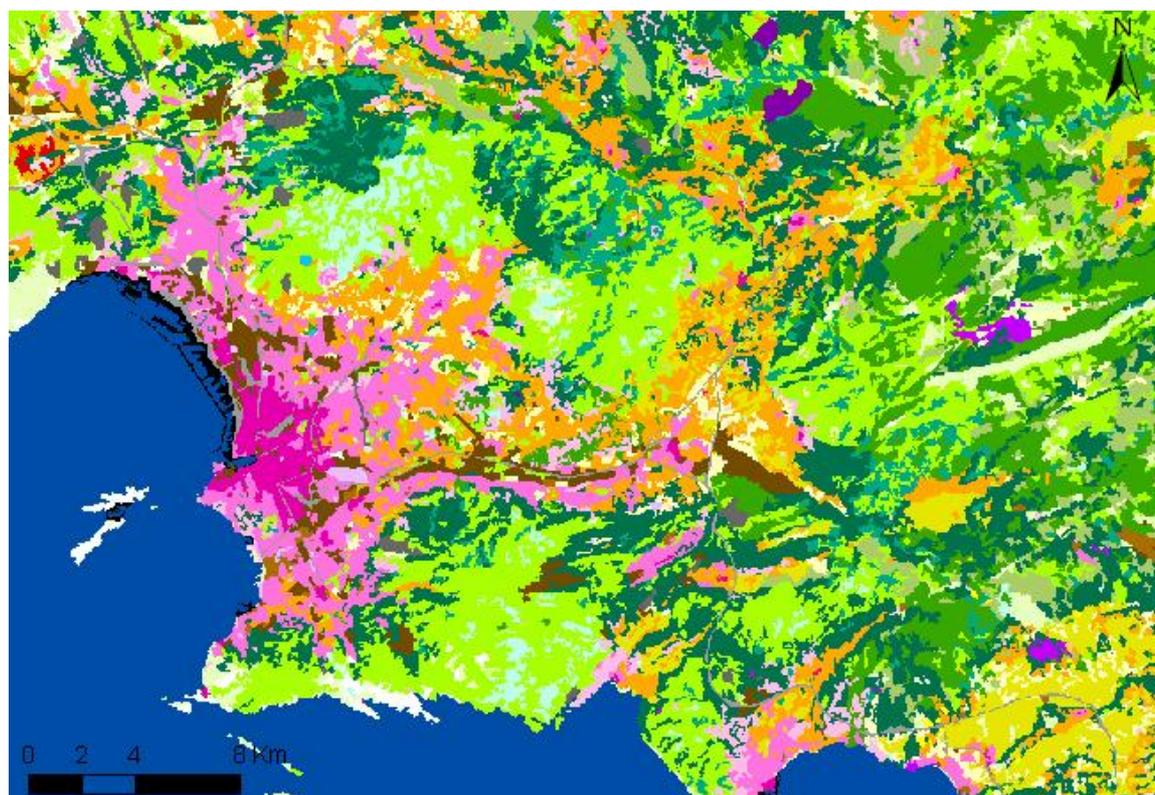


### 2.3.2 Présentation des données utilisées pour le test des indices d'écologie du paysage

Le site test de Marseille a été choisi en raison de la disponibilité d'informations de base pouvant être mobilisées dans le cadre de la prestation. La BD Occupation des sols 1999 de la DRE PACA, basée sur la nomenclature de Corine Land Cover de l'IFEN, a été utilisée pour mener à bien l'exercice.

L'échelle d'utilisation de base de données est située entre 1/100 000 et 1/50 000. C'est le niveau 3 de la nomenclature qui a été utilisé ; il comprend 30 classes. Cette base de données d'occupation du sol a été réalisée à partir d'images satellites LANDSAT 7 (satellite américain ayant une résolution spatiale de 30 mètres en multispectral = couleur) et IRS-ID (satellite indien ayant une résolution de 5,8 mètres en panchromatique = noir & blanc).

carte 1 : présentation de la zone choisie pour le test du logiciel Fragstat – extraction de la BD Occupation du sol 1999



#### Classification de niveau 3 de CORINE Land Cover

 Mers et océans	 Zones naturelles avec présence d'habitat résidentiel
 Forêts de feuillus	 Roches nues
 Forêts mélangées	 Zones industrielles ou commerciales
 Végétation clairsemée	 Oliveraies
 Forêts de conifères	 Plans d'eau
 Maquis et garrigue	 Réseaux routiers et ferroviaires et réseaux de communication
 Forêts et végétation arbustives en mutation	 Zones portuaires
 Terres arables autre que serres et rizières	 Plages, dunes et sables
 Territoires à dominante agricole avec présence d'habitat résidentiel	 Extraction de matériaux
 Vignobles	 Chantiers
 Bâti isolé	 Marais intérieurs, marécages
 Pelouses et pâturages naturels	 Zones incendiées
 Equipements sportifs et de loisirs	 Serres
 Tissu urbain discontinu	 Espaces verts urbains
 Tissu urbain continu	 Systèmes culturaux et parcellaires complexes

Afin de pouvoir réaliser le test, des regroupements ont été nécessaires parmi les classes de la nomenclature : c'est l'étape dite de **recodage**.

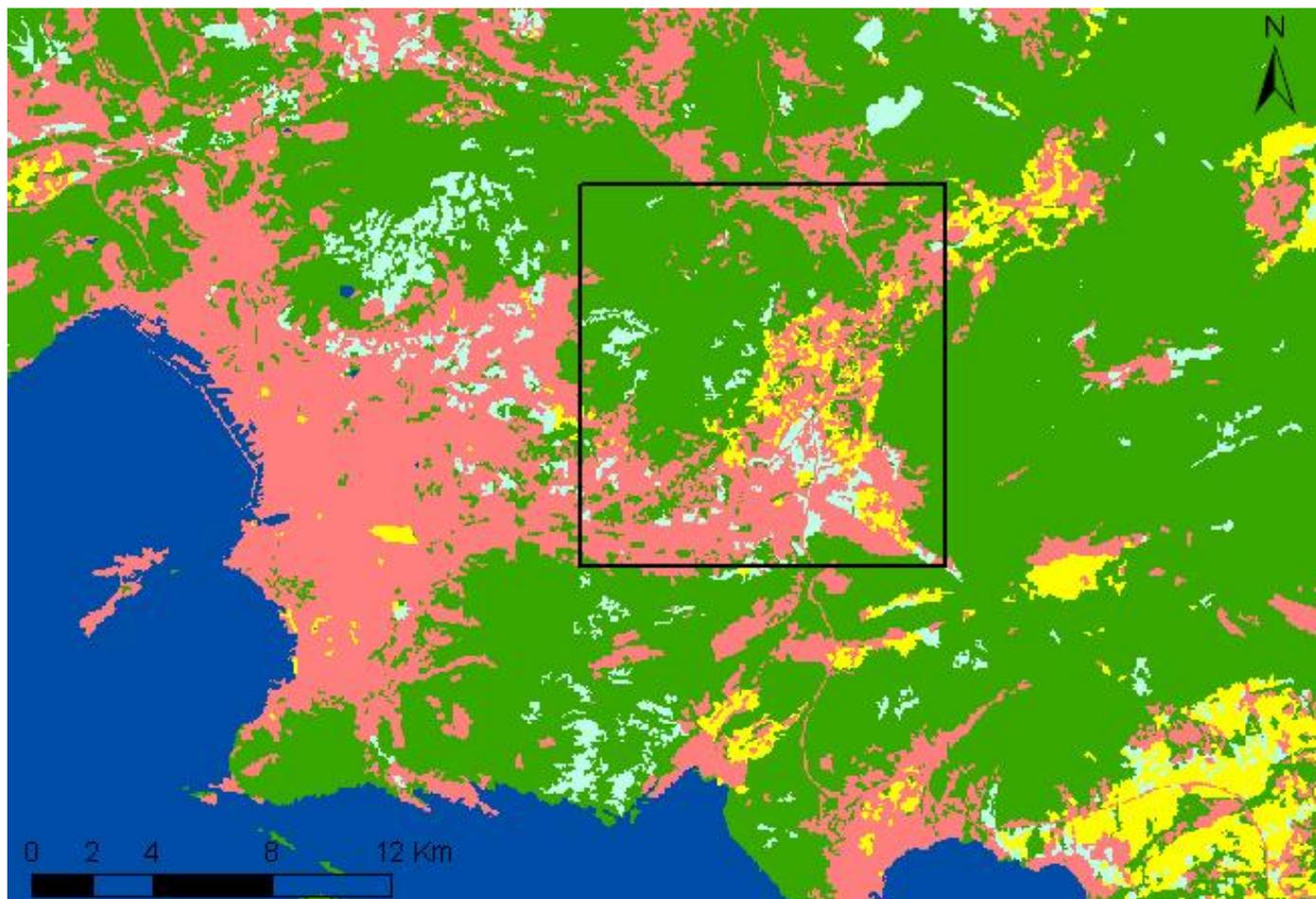
1. Surfaces en eau (mer, plans d'eau),
2. Zones nodales (espaces forestiers et végétation arbustive),
3. Zones vecteurs (espaces agricoles ou végétalisés pouvant être empruntés par la faune – continuums),
4. Obstacles (espaces urbains, espaces industriels, zones d'exploitation minière et infrastructures linéaires),
5. Espaces neutres (espaces sans obstacle, ne constituant pas de continuums et pouvant être empruntés par la faune).

**ATTENTION** : dans le cadre de cette étude, l'objectif n'était pas de réaliser une cartographie du réseau écologique du secteur de Marseille, mais uniquement de visualiser ce que peuvent signifier les indices statistiques proposés par le logiciel Fragstat. Pour les besoins de ce test, une seule source d'information géographique (Occupation du sol 1999) a été utilisée, sans croisement aucun avec d'autres sources de données (DIREN...) qui auraient permis d'affiner les notions de zones nodales, zones vecteurs...

Valeurs	Classification de niveau 3 CORINE Land Cover	Classes	Recodage
1	Mers et océans	Surfaces en eau	1
2	Forêts de feuillus	Zones nodales	2
3	Forêts mélangées	Zones nodales	2
4	Végétation clairsemée	Zones nodales	2
5	Forêts de conifères	Zones nodales	2
6	Maquis et garrigues	Zones nodales	2
7	Forêts et végétation arbustive en mutation	Zones nodales	2
8	Terres arables autres que serres et rizières	Espaces neutres	5
9	Territoires à dominante agricole avec présence d'habitat résidentiel	Obstacles	4
10	Vignobles	Zones vecteur	3
11	Bâti isolé	Obstacles	4
12	Pelouses et pâturages naturels	Zones vecteur	3
13	Équipements sportifs et de loisirs	Obstacles	4
14	Tissu urbain discontinu	Obstacles	4
15	Tissu urbain continu	Obstacles	4
16	Zones naturelles avec présence d'habitat résidentiel	Obstacles	4
17	Roches nues	Obstacles	4
18	Zones industrielles ou commerciales	Obstacles	4
19	Oliveraies	Zones vecteur	3
20	Plans d'eau	Surfaces en eau	1
21	Réseaux routiers et ferroviaires et réseaux de communication	Obstacles	4
22	Zones portuaires	Obstacles	4
23	Planes, dunes et sables	Obstacles	4
24	Extraction de matériaux	Obstacles	4
25	Chantiers	Obstacles	4
26	Marais intérieurs, marécages	Obstacles	4
27	Zones incendiées	Espaces neutres	5
28	Serres	Obstacles	4
29	Espaces verts urbains	Zones vecteur	3
30	Systèmes culturels et parcellaires complexes	Zones vecteur	3

L'image suivante montre le même secteur que celui présenté en page précédente, mais après recodage. Afin de réduire les temps de traitement informatique, la zone d'essai a été réduite. C'est le rectangle délimitant cette surface qui fait l'objet du test des indices. Le pas de résolution est de 50 mètres.

carte 2 : zone test « recodée » pour les besoins d'utilisation du logiciel Fragstat



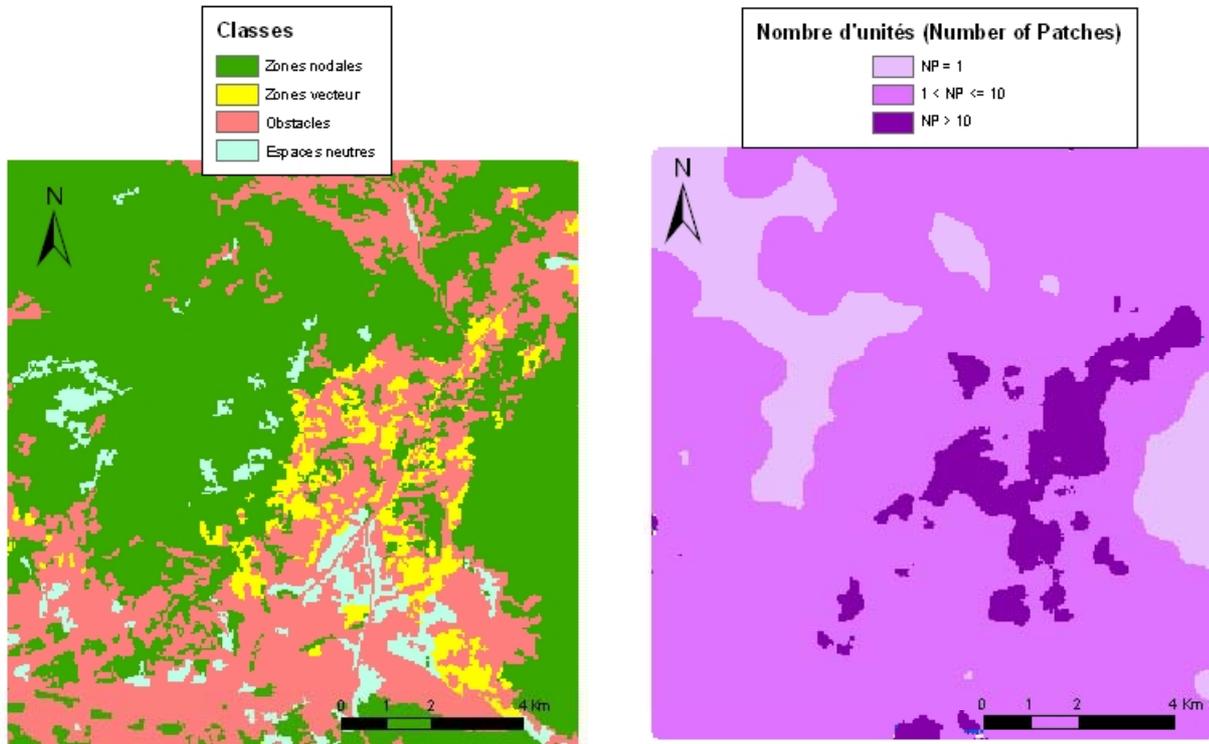
### Classes d'occupation du sol

- Surfaces en eau
- Zones nodales
- Zones vecteur
- Obstacles
- Espaces neutres

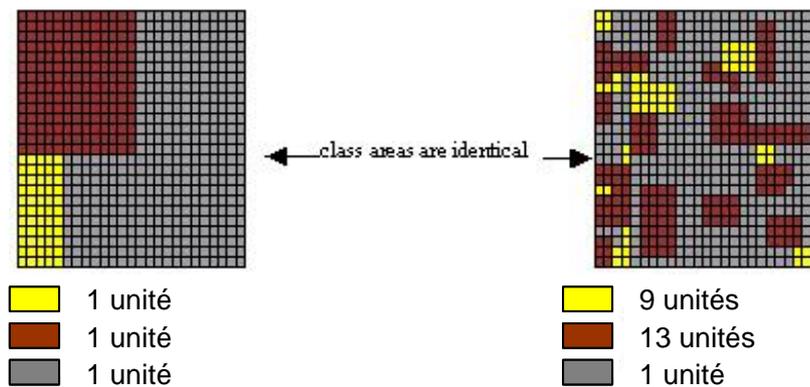
### 2.3.3 L'indice « nombre d'unités »

L'indice « nombre d'unités » permet de compter, dans un voisinage de 500m, le nombre d'unités présentes. Cet indice traduit le **morcellement du paysage** : plus le nombre d'unités est élevé et plus le morcellement est important.

carte 3 : visualisation de l'indice « nombre d'unités » avec le logiciel Fragstat

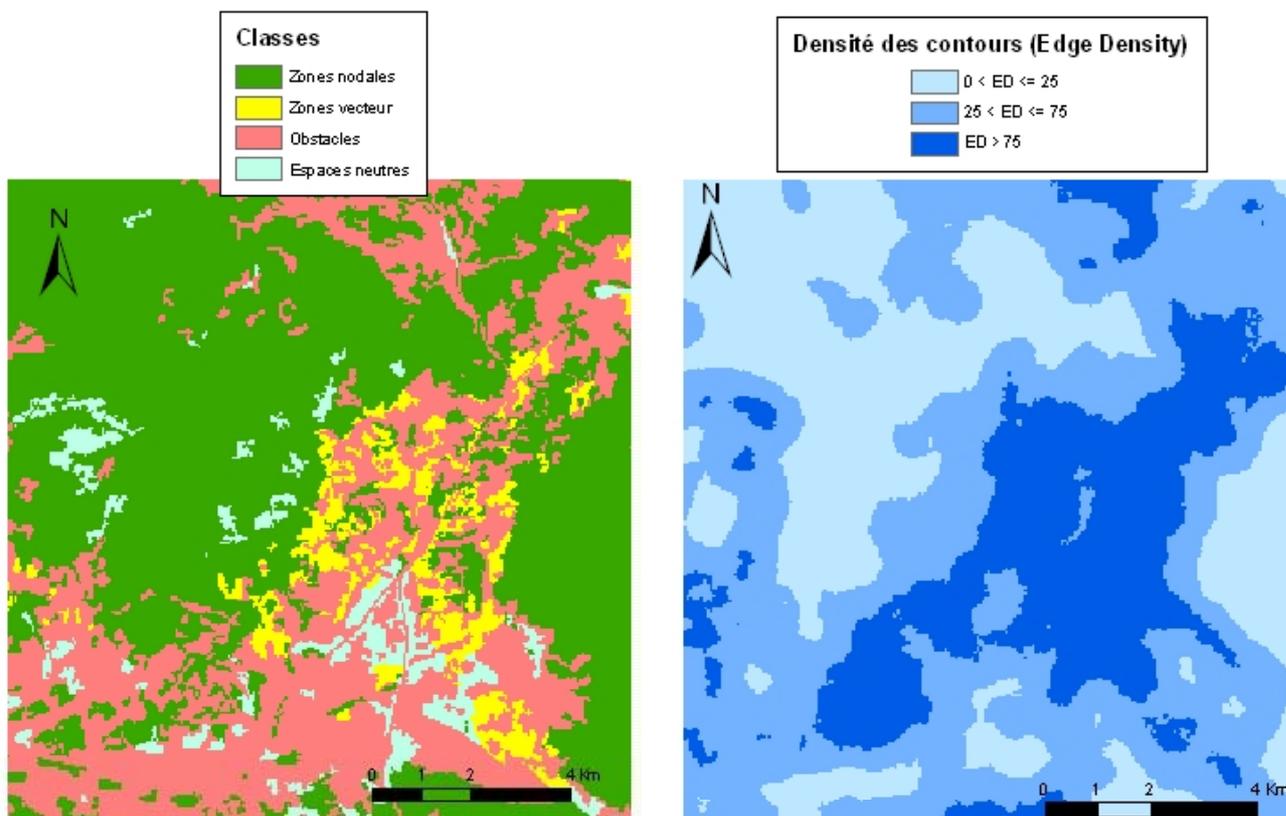


Le schéma ci-dessous explique comment, pour un même nombre de types d'occupation du sol, on peut avoir un nombre d'unités différent selon la répartition de celles-ci dans le paysage, traduisant ainsi un morcellement, une fragmentation plus ou moins importants.



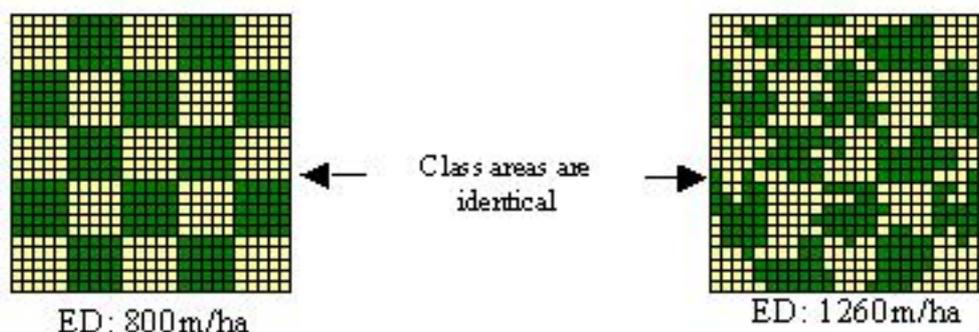
### 2.3.4 L'indice de « densité des contours »

L'indice de « densité des contours » permet de calculer dans un voisinage de 500 m la longueur des contours par hectare. Cet indice traduit la complexité des formes présentes dans le paysage : plus la densité des contours est élevée et plus le paysage est complexe et les unités sont imbriquées les unes dans les autres.



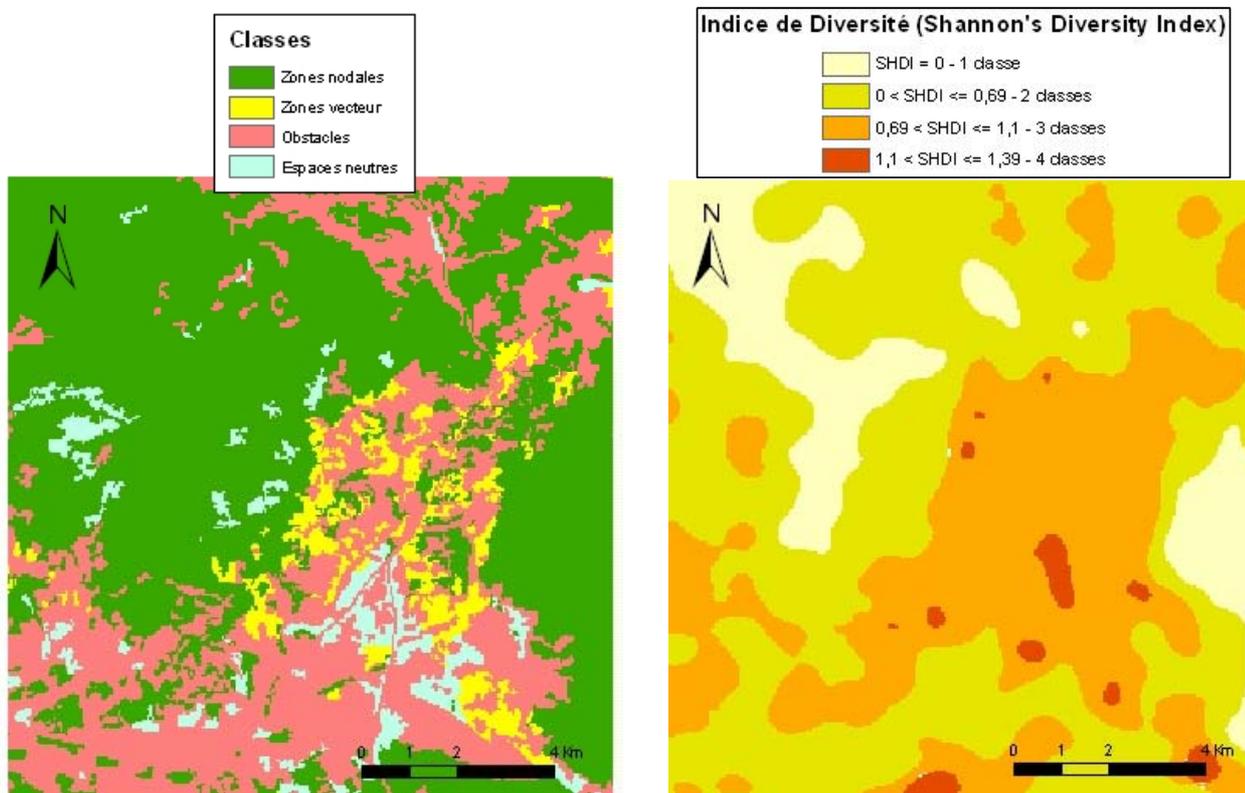
carte 4 - visualisation de l'indice de « densité de contours » avec le logiciel Fragstat

Les schémas montrent que, pour un même nombre d'unités, la densité des contours varie en fonction de la complexité des formes.



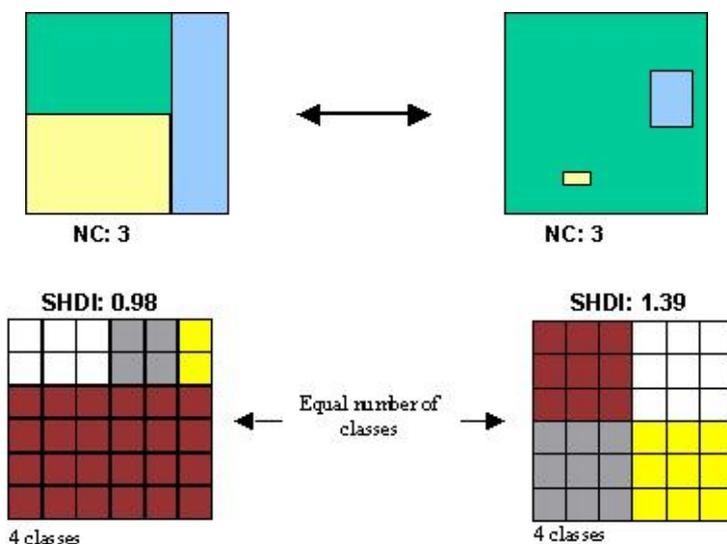
### 2.3.5 L'indice de diversité de Shannon

L'indice « diversité de Shannon » permet de déterminer, dans un voisinage de 500m, le nombre de types d'occupation du sol présents en proportion approximativement équivalente. Cet indice traduit la diversité du paysage : plus l'indice est élevé et plus le nombre de types d'occupation du sol présents dans les mêmes proportions est élevé.



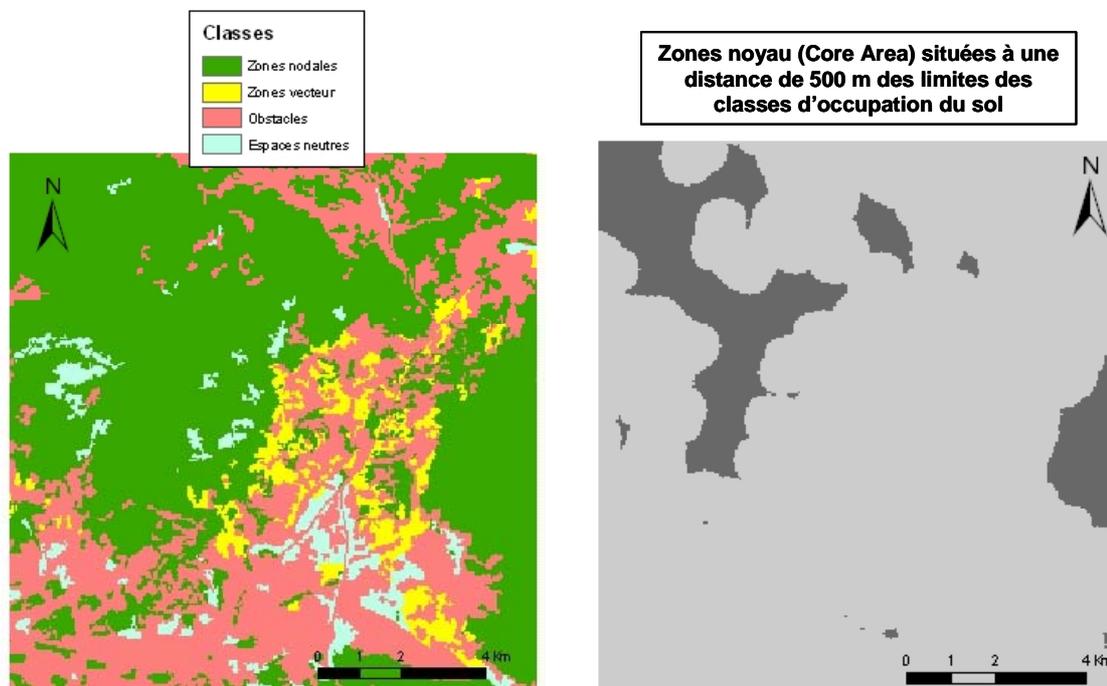
carte 5 - visualisation de l'indice de « diversité de Shannon » avec le logiciel Fragstat

Les schémas ci-dessous illustrent le calcul de l'indice « diversité de Shannon ». Ils montrent que, pour un même nombre de types d'occupation du sol, l'indice prend en compte la proportion des différentes classes présentes dans le paysage.



### 2.3.6 L'indice de « zone noyau »

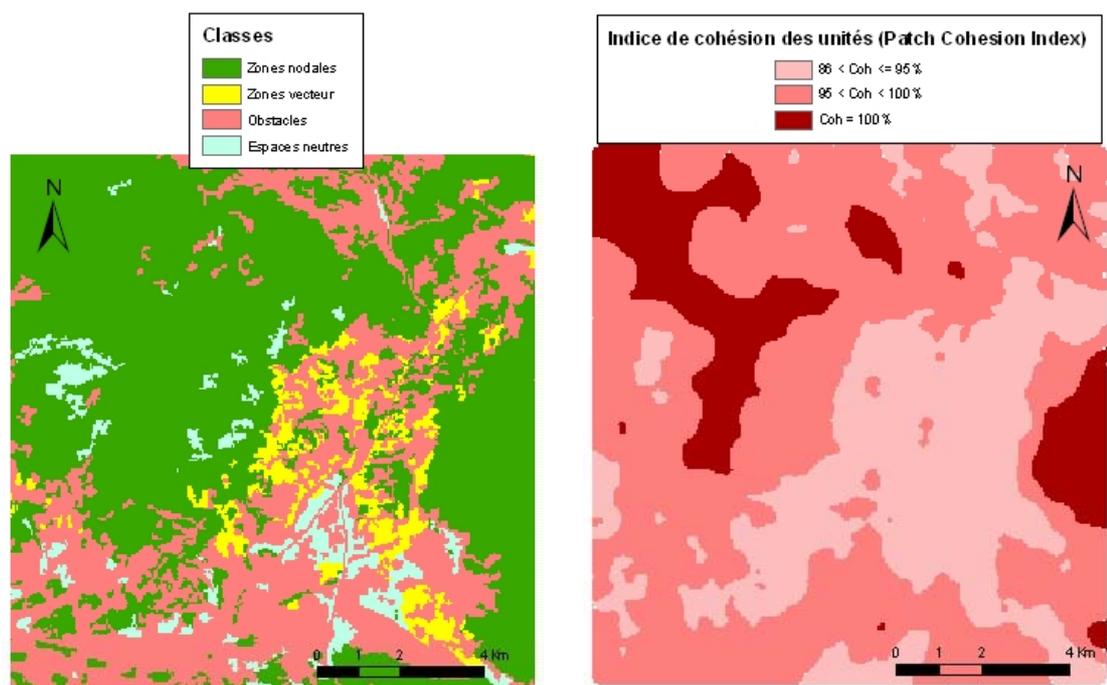
L'indice « zone noyau » permet de déterminer, dans un voisinage de 500m, les zones situées à plus de 500m des limites des unités et les zones situées à moins de 500m de ces limites. Les zones situées à plus de 500m<sup>1</sup> des limites d'unités correspondent à des zones homogènes constituant le cœur d'unités.



carte 6 - visualisation de l'indice de « zone noyau » avec le logiciel Fragstat

### 2.3.7 L'indice de « cohésion »

L'indice « cohésion des unités » permet de déterminer dans un voisinage de 500 m la cohésion des unités, c'est-à-dire qu'il dénombre les unités de même nature dans un rayon de 500 m, non interrompus. Ainsi cet indice traduit la



diversité du paysage : plus l'indice est élevé et plus le nombre d'unité est élevé et plus le paysage est diversifié.

carte 7 - visualisation de l'indice de « cohésion » avec le logiciel Fragstat

<sup>1</sup> Le choix des 500m s'appuie sur la littérature naturaliste qui admet l'existence d'une zone de retrait de cette profondeur par rapport aux zones fréquentées ou occupées par l'homme. Les zones noyau sont entourées d'une zone tampon.

## 2.4 Les limites d'utilisation des indices d'écologie du paysage

Les indices d'écologie du paysage permettent de déterminer la répartition, l'arrangement et la complexité des différents éléments du paysage dans l'espace, mais ils ont leurs limites :

- Défaut de disponibilité des bases de données sur de large secteur à une échelle de résolution pertinente,
- Identification des réseaux écologiques restant du domaine de l'expert écologue en préalable à la modélisation, et pour laquelle les interprétations peuvent être multiples selon les points de vue, notamment pour la définition des obstacles,
- Limite même du logiciel utilisé du fait de l'échelle de travail, la taille de la fenêtre de calcul, le temps de calculs, l'approfondissement des classes de codage<sup>2</sup>, l'interprétation nécessaire a posteriori,
- Dans le cadre d'une analyse globale, abstraction des caractéristiques liées aux différentes populations pratiquant et vivant dans ce réseau écologique : seuil des aires vitales, seuils de population.

Ainsi, pour être pertinents, les indices d'écologie du paysage doivent prendre en compte les **besoins des espèces** liées à un type d'habitat ou être utilisés pour **mesurer l'évolution d'un paysage** au cours du temps ou comparer plusieurs paysages entre eux.

## 2.5 Disponibilité des données en région PACA

Le tableau ci-après renseigne sur les bases de données existantes en PACA en 2006. Il permet de connaître la disponibilité des informations, sachant que certaines d'entre elles sont payantes.

	Producteurs	Contenu	Date de validité	Echelle d'utilisation	Formats	Système de projection	Disponibilité / Contact
BD CARTO	IGN	Base de données géographique contenant des informations concernant les limites et unités administratives, les réseaux routier, ferré et électrique, l'hydrographie, l'occupation du sol (précision : 50 m), et la toponymie. Objets vectorisés en 2D	1998	Echelle départementale : 1/50 000 Echelle nationale : 1/250 000	GeoConcept (.gmc), MapInfo Export (.mif .mid), MapInfo (.tab), ArcInfo Export (.e00), ArcView (.shp)	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	GéoPol
BD TOPO	IGN	BD CARTO + le relief, les points géodésiques, la végétation, les bâtiments et équipements divers. Objets vectorisés en 3D	Dépend des dalles	1/5000 au 1/25000	GeoConcept (.gmc), MapInfo Export (.mif .mid), MapInfo (.tab), ArcInfo Export (.e00), ArcView (.shp)	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	Non
BD CARTHAGE	IGN – Agences de l'Eau	Thème hydrographique de la BD CARTO complété par les Agences de l'Eau. Données représentés : hydrographie linéaire (cours d'eau, canaux...), hydrographie surfacique (plans d'eau et zones larges des cours d'eau), les points d'eau isolés (château d'eau, station de pompage...), hydrographie de texture (marais, tourbière...), laissés de bord de mer, zonage hydrographique			MapInfo Export (.mif .mid), ArcInfo Export (.e00)	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	Organismes candidats à la sphère eau (DIREN, DDE, etc.)

<sup>2</sup> En effet, pour la classe définissant les obstacles, il peut y avoir des gammes de nuances, par exemples pour les routes, en fonction du nombre de véhicules /jour, les vitesses pratiquées, la présence de clôture, pour les rivières, en fonction de la typologie, de la largeur, du débit, de la profondeur

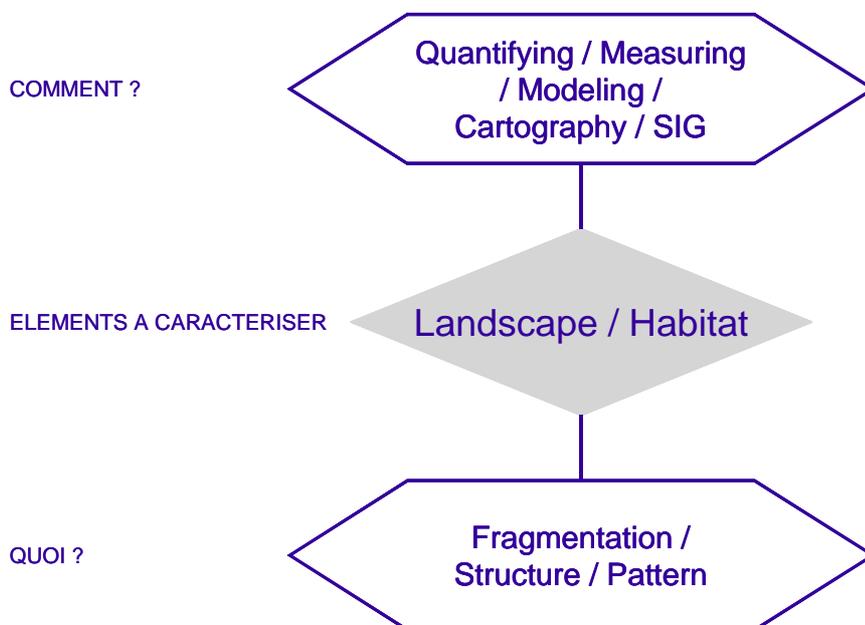
		(région, secteur, sous-secteur, zone hydrographique),					
Réseaux de la SCP	SCP	Plan de situation de l'implantation des réseaux de la SCP en région PACA	2003	1/50000 au 1/250000		Lambert II étendu	elvis.parisini@canal-de-provence.com
Route 500	IGN	Base de données dérivée de la DB CARTO, elle contient la totalité du réseau classé de France : réseau routier (500 000 Km de routes et d'autoroutes), limites administratives jusqu'au niveau communal, réseau ferré principal et gares associées, silhouettes des agglomérations, forêts et étendues d'eau, cours d'eau principaux et secondaire.	2004	1/100000 au 1/500000	MapInfo Export (.mif .mid), GeoConcept (.gmc), ArcView (.shp)	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	GéoPol
BD ALTI Courbes de niveaux	IGN	Courbes de niveaux recalculées à partir de MNT	2001	1/25000 au 1/250000	GeoConcept (.gmc), ArcInfo Export (.e00), ArcView (.shp), AutoCad Export - .dxf)	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	
Produits dérivés de la BD ALTI	CETE Méditerranée	Courbes de niveaux, zones hypsométriques, cartes de pente et points cotés	1995	1/25000 au 1/400000	MapInfo (.tab)	Lambert II étendu	GéoPol
Occupation du sol PACA 1999	GeoMéditerranée	Cartographie de l'occupation du sol réalisée à partir de classifications d'images satellitaires datant d'août à septembre 1999 : de Landsat 7 (satellite américain ayant une résolution de 30 m en multispectral) et IRS-1D (satellite indien ayant une résolution de 5,8 m en PAN). Les classes correspondent en majorité à la nomenclature CORINE Land Cover de l'IFEN avec quelques adaptations spécifiques à la région PACA.	1999	1/25000 au 1/100000	MapInfo (.tab), ArcView (.shp)	Lambert II étendu	GéoPol
Occupation du sol – Est dept13	SPOT IMAGE	Base de données d'occupation du sol produite à l'initiative du CNES, de l'ARPE PACA et de SPOT IMAGE sur un territoire comprenant le Nord d'Aix-en-Provence, Marseille, l'étang de Berre et le massif de l'Etoile. Occupation du sol réalisée à partir du traitement d'une image Spot 5 rééchantillonnée à 2,5 m couleur : orthorectification, classification par photo-interprétation (utilisation des cartes topo au 1/25000, des photos aériennes, des données IFN, des	2004	1/10000	MapInfo Export (.mif .mid), ArcView (.shp)	Lambert II étendu	GéoPol

		plans de ville, etc.). 3 niveaux de classification : 57 classes, 29 classes, 8 classes.					
<b>Inventaire Forestier National</b>	IFN	Délimitation et caractérisation des types de formation végétale boisée sur fond de limites de modes de propriété forestière et de régions forestières naturelles. Les limites de propriétés forestières permettent d'identifier les limites des forêts domaniales et des autres forêts soumises au régime forestier. Les régions forestières naturelles identifient des zones homogènes du point de vue des types de forêts ou de paysages prenant en compte des critères bioclimatiques et topographiques essentiellement. Les types de formations végétales boisées sont délimitées grâce à un travail de photo-interprétation à partir de photographies aériennes infrarouges ou panchromatiques prises à une échelle comprise entre le 1/17000 et le 1/30000.	2003 – 3 <sup>ème</sup> cycle de l'inventaire	1/25000	GeoConcept (.gmc), MapInfo Export (.mif .mid), ArcInfo Export (.e00), ArcView (.shp)	Lambert II étendu, Lambert III	GéoPol
<b>Cartographie des formations végétales boisées</b>	IFN	Base de données cartographique des types de formation végétale boisée issue de l'Inventaire Forestier National (voir caractéristiques ci-dessus). Nomenclature nationale simplifiée de 10 classes : futaie feuillue, futaie résineuse, futaie mixte, mélange de futaie feuillue et taillis, mélange de futaie de conifères et taillis, taillis simple, forêt ouverte, lande, peupleraie cultivée et non boisée.	2004	1/25000	MapInfo Export (.mif .mid), MapInfo (.tab), ArcView (.shp)	Lambert II étendu, Lambert III	GéoPol
<b>Base de données pédologiques du Var</b>	SCP, INRA	Délimitation des unités cartographiques de sols sur petite échelle IGN à partir d'une synthèse d'études existantes et/ou d'investigations pédologiques sur le terrain. Base de données conforme à la structure nationale DONESOL2 de l'INRA.	2005	1/250000 au 1/500000	MapInfo Export (.mif .mid), MapInfo (.tab), ArcView (.shp)	Lambert II étendu	marie.vique snet@canal-de-provence.com
<b>Petites régions naturelles</b>	CEMAGR EF	Contours d'unités homogènes du point de vue géologique et climatique. Chaque petite région naturelle est décrite par numéro, nom, types pluviométriques, relief et roche	1998	1/100000 au 1/1000000	ArcView (.shp)?	Lambert III	marielle.japlot@aix.cemagref.fr
<b>Données des inventaires et zones de protections de l'environnement</b>	DIREN PACA	Zones protégées ou à enjeux environnementaux dont il faut tenir compte lors d'études d'impact ou de projet d'aménagement.  Arrêtés de biotope (2005), Réserves de biosphère (2005), Parcs nationaux et parcs naturels	2002, 2005	1/25000 au 1/250000	MapInfo Export (.mif .mid)	Lambert II étendu	GéoPol

l'environnement		régionaux (2005), Réserves naturelles et volontaires (2005), Données Natura 2000 : inventaires, pSIC, SIC, ZSC, ZICO, ZPS (2005), ZNIEFF 1 <sup>ère</sup> génération (2002), Zone RAMSAR (2005), Paysages (2005), Zones sensibles et vulnérables (2002), Sites classés (2005).					
Inventaire Permanent du Littoral	IFEN	Inventaire permanent du littoral à partir de l'interprétation d'images satellitales	1977	1/25000 au 1/200000	MapInfo (.tab)	Lambert II étendu	GéoPol
POS généralisé PACA	DRE PACA	Report des zonages POS sur le 1/25000° par généralisation et accrochage sur les éléments de la BD Carto.	1999	1/25000 au 1/100000	MapInfo (.tab), ArcView (.shp)	Lambert II étendu	GéoPol
SCAN 25	IGN	Scannage des cartes IGN série bleue ou Top25 au 1/25000		1/10000 au 1/100000	TIFF	Lambert II étendu, Lambert III zone	GéoPol
BD ORTHO	IGN	Orthophotographie numérique d'une résolution spatiale de 50 cm	2003 pour Var	1/2000 au 1/25 000	ECW	Lambert II étendu, Lambert III zone, Lambert 93	GéoPol
Image LANDSAT 7	CRIGE PACA	Composition colorée des canaux vert, infra-rouge et panchromatiques des scènes Landsat 7 du 10/08/1999 et du 02/09/1999 mosaïquées et orthorectifiées. Résolution spatiale 15 mètres (canal PAN à 15 m, canaux multi à 30 m).	1999	1/50 000 au 1/500000	TIFF	Lambert II étendu	cecile.roux@crige-paca.fr
Carte géologique 50	BRGM	Cartes géologiques scannées		1/50000	ECW	Lambert II étendu	GéoPol

### 3 Fiches de lecture des références bibliographiques

La recherche bibliographique a été réalisée selon les termes suivants



Les fiches ci-après ont été réalisées uniquement pour les ouvrages qui ont retenu notre attention et étaient susceptibles d'apporter de la matière à nos réflexions et aux exercices de méthodes développés sur les deux territoires tests du Var (cf. tomes 2 et 3 « Fragmentation des milieux naturels »). Elles ne reflètent pas la totalité des ouvrages trouvés par mots clés retenus.

### 3.1 COST Transport - Action 341 : Fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transport - Etat de l'art - Rapport de la France

**AUTEUR(s)** : Coordination française : SETRA et CETE de l'Est

**ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Ministère de l'Équipement - SETRA

**DATE DE PUBLICATION** : janvier 2006

**PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Effets des infrastructures, effets de barrière, corridor, fragmentation des habitats, densité des routes, indices

**ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

**Effets directs des infrastructures sur la nature**

Principaux effets des infrastructures : la perte de l'habitat (diminution de la surface d'habitat disponible), la fragmentation (augmentation de l'isolement des fragments) et les effets de lisière (augmentation du linéaire de lisières entraînant une banalisation des espèces présentes).

La fonction corridor de l'infrastructure concerne principalement la dispersion des espèces animales ou végétales le long d'une voie, dans ses emprises végétalisées, ou bien dans les canaux et cours d'eau.

Les perturbations et nuisances : pendant la phase de chantier (protection du chantier, rejets, dérangement), pendant l'exploitation de l'infrastructure liée à la mise en service de celle-ci (impact de l'éclairage artificiel, polluants émis par les véhicules, impact de la navigation sur le fond des cours d'eau, sur la colonne d'eau et sur les berges, etc.).

La mortalité de la faune due aux collisions en général. Pour les infrastructures routières, la mortalité dépend de la nature de l'infrastructure (route nationale, départementale, etc.), de la saison, du trafic routier, etc. Pour les voies ferrées, la mortalité de la faune dépend de la hauteur de la végétation qui borde la voie, les voies en déblais sont moins dangereuses. Pour les canaux, la mortalité est essentiellement due aux noyades.

L'effet de barrière : l'infrastructure peut être un obstacle physique pour les petites espèces se déplaçant au sol, les grillages pour les grands animaux mais aussi pour des animaux plus petits tels les papillons. L'infrastructure peut aussi être une barrière thermique pour certaines espèces volantes (mouvements d'air ascendant provoqués par l'échauffement des voies).

Les effets sur les populations : diminution de certaines populations, création de nouvelles unités de populations d'une même espèce, mortalité.

**Effets indirects des infrastructures sur la nature**

La fragmentation et les effets de réseau dus à la densité du réseau d'infrastructure et la connectivité de celui-ci.

Les effets induits affectent l'utilisation du sol, l'urbanisation et l'économie.

**Indicateurs, indices de fragmentation**

Les indices purement spatiaux permettent de suivre la diminution de la taille moyenne des taches ou unités d'habitat ou l'augmentation de leur isolement (surface et proportion de chaque type d'occupation du sol, densité des routes, distance moyenne entre les unités de même type d'occupation du sol).

Les indices sont définis par rapport à une espèce ou un type d'habitat (surface d'habitat favorable, taille moyenne des unités d'habitat favorable, densité moyenne de celles-ci, densité d'éléments linéaires à effet de barrière, densité d'éléments linéaires à effet corridor).

Les indices de proximité (Gustafson et Parker, 1994) quantifient le contexte spatial d'une unité d'habitat en calculant la quantité d'unités voisines. Ils différencient les distributions éclatées constituées de petites unités d'habitat des distributions caractérisées par de grandes unités regroupées (nombre d'intersection entre les éléments à effet de barrière, éléments à effet corridor, densité de routes pondérée par le trafic qu'elles soutiennent).

Les indices dépendent de la résolution des données et de l'étendue de la zone d'étude. Les relations entre les valeurs prises par ces indices et la viabilité des populations est parfois difficile à établir et dépendent du type de paysage étudié.

Dans le domaine des transports, un indicateur à prendre en compte serait la densité des routes (départementales, nationales, autoroutes) par kilomètre pour 100 km<sup>2</sup>.

Pour les espaces naturels et ruraux, les indicateurs suivants seraient à prendre en compte :

- la superficie des espaces faisant l'objet d'une protection forte et le pourcentage par rapport à la moyenne nationale ;
- la superficie des ZNIEFF en hectare ;
- le linéaire de haies en zone agricole.

## 3.2 Modeling functional landscape connectivity

**AUTEUR(s)** : David M. THEOBALD

**Site** **Internet** : [www.seawead.org/flotsam/landscape\\_ecology/landscape\\_connectivity.pdf](http://www.seawead.org/flotsam/landscape_ecology/landscape_connectivity.pdf),  
[gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1109/p1109.htm](http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap1109/p1109.htm)

### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(S) ET AUTRES FINANCEURS**

Natural Resource Ecology Lab, Department of Natural Resource Recreation & Tourism, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1499, USA

**DATE DE PUBLICATION** : 2002 ?, 13 pages

### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Perte d'habitat, fragmentation, SIG, qualité d'habitat, qualité de la matrice, regroupement d'habitat, coût de déplacement

### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Etat du Colorado, Etats-Unis d'Amérique

### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

Southern Rocky Mountain Ecoregion situé à cheval sur les états du Colorado du Wyoming et du Nouveau Mexique, Etats-Unis d'Amérique

### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Cet article décrit un modèle intégrant les espèces pour définir la connectivité du paysage. L'outil utilisé est une extension du logiciel ArcView 3.2 permettant la modélisation de la connectivité du paysage à partir de paramètres définis par l'utilisateur. Ce modèle se déroule en trois étapes : la définition de la qualité de l'habitat, la définition de la qualité de la matrice et la construction des groupes d'habitats. Ces étapes sont réalisées à partir d'une carte d'occupation du sol.

La qualité de l'habitat est déterminée à partir des classes d'occupation du sol ainsi que d'autres facteurs comme la topographie (pente, altitude, exposition), la présence d'eau, etc. Les effets réduisant la qualité de l'habitat, c'est-à-dire les activités humaines liées à l'occupation du sol (densité de routes ou de bâti, agriculture intensive, nature des routes et de leur revêtement, etc.) doivent être pris en compte. Les effets de lisière (*i.e.* de bord) affectant la qualité de l'habitat sont quantifiés soit en fonction de la distance aux bords, soit en déterminant des zones pour lesquelles les effets de lisières sont les mêmes. Enfin, les unités d'habitat ayant une superficie trop petite pour assurer la pérennité d'une espèce sont supprimées.

La qualité de la matrice correspond à la capacité d'une espèce à se déplacer à travers plusieurs types d'occupation du sol (fonction coût de déplacement). La qualité de la matrice est établie à partir de la résistance qu'offrent les différents types d'occupation du sol au déplacement des espèces. Moins la résistance d'un type d'occupation du sol sera importante et plus la qualité de la matrice sera bonne.

Les unités d'habitat seront considérées comme étant connectées lorsque la distance entre celles-ci sera en-dessous le seuil permettant le déplacement des espèces. Le déplacement des espèces est déterminé par la distance de dispersion mesurée en kilomètres.

### 3.3 Landscape indices as measures of the effects of fragmentation : can pattern reflect process ?

**AUTEUR(s)** : Daniel RUTLEDGE

**Site Internet** : <http://www.doc.govt.nz/Publications/004~Science-and-Research/DOC-Science-Internal-Series/PDF/DSIS98.pdf>

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Department of Conservation, PO Box 10-420, Wellington, NEW ZELAND

**DATE DE PUBLICATION** : 2003, DOC Science Internal Series 98, 27 p

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES** (descripteurs matières)

Configuration, connectivity, ecosystem, fragmentation, habitat, landscape, landscape indices, pattern, process, shape, viability

#### **ANALYSE** (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)

La troisième partie de cet article – présentant les indices d'écologie du paysage utilisés pour caractériser la fragmentation – est développée dans ce résumé. Les indices spatiaux décrivant les attributs des unités d'habitat peuvent être répartis en trois classes : les indices de composition, les indices de forme et les indices de configuration.

#### **Indices de composition**

L'indice *Number of Patches* (Turner & al., 1989) mesure le nombre d'unité d'habitat d'une classe donnée. L'indice *Mean Patch Size* (McCarigal & al., 2002) calcule la surface d'une unité d'habitat appartenant à une classe donnée. L'indice *Largest Patch Index* (With & King, 1999 ; Saura & Martinez-Millan, 2001) mesure le pourcentage de paysage occupé par la plus grande unité d'habitat d'une classe donnée. Ces trois indices dépendent de la résolution de l'image et de l'étendue de la zone d'étude (échelle). L'indice *Patch Density* (McCarigal & Marks, 1995 ; Saura & Martinez-Millan, 2001) résout en partie ce problème en calculant le nombre d'unités d'habitat d'une classe donnée par unité d'aire. L'indice *Average Patch Carrying Capacity* (Vos & al., 2001) calcule la moyenne du nombre d'aires de reproduction pour une espèce donnée. Les indices *Splitting Index* et *Effective Mesh Size* (Jaeger, 2000) se rapportent tous deux à l'indice de division (détaillé dans les indices de configuration). Ces indices calculent respectivement le nombre et la taille moyenne des unités d'habitat de même taille d'une classe donnant une valeur particulière de l'indice de division. L'indice *Core Area* (McCarigal & Marks, 1995 ; Schumaker, 1996) calcule l'aire de la zone noyau dont la limite se trouve à une certaine distance du bord de l'unité d'habitat. L'indice *Core Area Index* (McCarigal & Marks, 1995) calcule le rapport entre l'aire de la zone noyau et l'aire de l'unité d'habitat.

#### **Indices de forme**

Les indices de forme permettent de quantifier la complexité des unités d'habitat. Les cercles ou carrés possèdent peu de bords et de grandes zones noyau alors que les formes allongées, minces ou sinueuses ont d'avantage de bords mais de petites zones noyau. Le rapport Périmètre sur Superficie d'une forme (Krummel & al., 1987) permet de traduire les propos ci-dessus, ce rapport dépendant de la taille de l'unité d'habitat pour une forme donnée. L'indice de forme (McCarigal & Marks, 1995 ; Patton, 1975) compare le rapport Périmètre sur Superficie d'une forme donnée à une forme standard (carré ou cercle) de façon à ne pas dépendre de la taille de l'unité d'habitat. La dimension fractale (Krummel & al., 1987 ; O'Neill, Krummel & al., 1988 ; Milne, 1991) mesure le degré de complexité des formes mais dépend de la résolution à laquelle on travaille. Le pixel carré (Frohn, 1998) mesure la différence entre la forme d'une unité d'habitat et une forme carrée.

#### **Indices de configuration**

Les indices de configuration permettent de mesurer le degré de connectivité ou d'isolement entre les unités d'habitat d'un paysage. Deux catégories d'indices mesurent la configuration des unités d'habitat : ceux basés sur les distances entre les unités d'habitat et ceux intégrant le modèle spatial dans sa globalité (texture).

### **Indices basés sur les distances**

L'indice de distance au plus proche voisin (Hargis & al, 1998 ; Moilanen & Nieminen, 2002) mesure la distance séparant les limites les plus proches d'unités d'habitat d'une même classe. L'indice de proximité ou *Buffer Indice* (Gustafson & Parker, 1992, 1994 ; Hargis & al., 1998) mesure la somme des aires d'unités d'habitat d'une même classe situées à une certaine distance d'une unité d'habitat cible. Les indices de connectivité (VerVos & al., 2001 ; Moilanen & Nieminen, 2002 – Kininmonth & al.) mesurent la connectivité entre une unité d'habitat cible et toutes les unités d'habitat situées à une distance spécifique de cet habitat cible.

### **Indices intégrant le modèle dans sa globalité (indices calculés sur l'ensemble du paysage)**

L'indice de contagion (O'Neil, Krummel & al., 1998 ; Li & Reynolds, 1993) mesure le degré d'adjacence des pixels d'un raster. Les valeurs de l'indice varient de 0 à 100 ; les fortes valeurs traduisant le regroupement des pixels d'une même classe, les faibles valeurs traduisant la dispersion des pixels d'une même classe. FRAGSTATS permet de calculer l'indice d'interspersion/juxtaposition (McCarigal & Marks, 1995) qui mesure l'adjacence des unités d'habitat et non pas seulement des pixels. Cet indice varie également de 0 à 100 ; les faibles valeurs indiquant des unités d'habitat regroupées, les fortes valeurs indiquant des unités d'habitat dispersées. L'indice Unité d'habitat par unité d'aire – *Patch per unit area* – (Frohn, 1998) calcule le nombre d'unité d'habitat par unité d'aire (indice peu utilisé). L'indice d'agrégation mesure le degré d'agrégation d'une classe d'unité de paysage en comparant le nombre de connections entre les pixels d'une même classe et le nombre maximal de connections possibles. L'indice varie de 0 (pixels isolés les uns des autres) à 1 (nombre de connections maximal entre les pixels d'une même classe). L'indice d'agrégation varie en fonction de la résolution de l'image et différentes organisations du paysage peuvent conduire à des valeurs identiques de l'indice. L'indice de division (Jaeger, 2000) se définit comme étant la probabilité que deux zones choisies au hasard ne se trouvent pas à l'intérieur d'une même unité de paysage. L'indice d'ouverture (*Lacunarity index*) (Plotnick & al., 1993) mesure les distances entre les objets d'une carte en comptant le nombre de pixels d'une classe à l'intérieur d'une fenêtre glissante ayant une taille donnée.

### 3.4 Quantifying Landscape Spatial Pattern : What is the state of the art ?

**AUTEUR(s)** : Eric J. GUSTAFSON

**Site Internet** : <http://www.geog.umontreal.ca>

**ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

North Central Forest Experiment Station, Winsconsin, USA

**DATE DE PUBLICATION** : 18/11/1997, Revue Ecosystems pp 143-156

**PROPOSITIONS DE MOTS CLES** (descripteurs matières)

Spatial pattern, index, indices, spatial heterogeneity, patchiness, landscape ecology, scale, geostatistics, autocovariation, spatial models.

**LOCALISATION ADMINISTRATIVE** (commune, département, région, pays)

Rhineland, Wisconsin

**ANALYSE** (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)

L'hétérogénéité spatiale traduit la complexité et la variabilité des propriétés d'un système dans le temps et dans l'espace (Li and Reynolds, 1994). La plupart des mesures de l'hétérogénéité ne sont pas spatialement explicites mais ont une importance du point de vue spatial (c'est le cas par exemple du nombre et du type d'occupation du sol, des proportions de chaque type). Le terme de modèle spatial est utilisé en écologie du paysage pour décrire à la fois la composition et la structure des paysages. L'évolution spatiale et temporelle des propriétés d'un système dépend de l'échelle spatiale et temporelle auxquelles le système a été échantillonné ainsi que de la taille et de l'unité de la carte (Wiens, 1989 ; Allen and Hoesktra, 1992). Les facteurs liés à l'échelle intervenant dans les mesures d'hétérogénéité sont la résolution des données (taille du pixel, unité cartographique minimale) et l'étendue de la zone d'étude ou bien la périodicité avec laquelle les observations ont été effectuées (O'Neill and all, 1986).

La quantification de l'hétérogénéité spatiale s'opère la plupart du temps sur des cartes thématiques (cartes d'occupation du sol par exemple). De nombreux indices permettent de quantifier l'hétérogénéité spatiale et se répartissent en deux catégories : les indices évaluant la composition d'une carte sans faire référence aux attributs spatiaux des objets, et les indices évaluant la configuration du système en tenant compte des informations spatiales dans leur calcul.

Les indices de composition décrivent le nombre de catégories ou de classes dans la carte, la proportion de chaque classe par rapport à l'ensemble de la carte et la diversité. Les mesures de diversité ont deux composantes : « richness » faisant référence au nombre de classes présentes et « evenness » faisant référence à la distribution des aires au sein des classes. La dominance s'opposant à l'uniformité (« evenness ») indique si la carte est dominée par une ou plusieurs classes (O'Neil and all, 1988a). Les indices de composition ont une référence spatiale lorsqu'ils sont calculés à partir d'une fenêtre glissante parcourant la carte, cela permet de visualiser la variabilité spatiale de l'indice à une échelle ou une résolution donnée (Riitters and Wickham, 1995 ; Perera and Badwin).

Les indices de configuration s'attachent à décrire chaque unité (« patch ») ou élément de paysage et les relations spatiales entre ces différentes unités. Les mesures de ces unités comprennent la taille, le nombre et la densité des unités. Ces mesures peuvent être calculées pour l'ensemble des classes ou bien pour une classe en particulier. Les indices de configuration permettent de calculer le périmètre de chaque unité, le périmètre total de toutes les unités appartenant à la même classe, la fréquence d'unités adjacentes, le contraste entre une unité et ses voisins, etc. La plupart des indices de forme utilise le rapport périmètre – surface (Forman and Godron, 1986 ; Milne, 1991 ; Riitters and all, 1995). Un indice largement utilisé permet de déterminer les zones noyau (« core area ») en s'intéressant à la fois à la taille des unités et à leur forme. Cette zone noyau correspond à une partie de l'unité suffisamment éloignée de ces bords et ne subissant pas les effets de bord. La distance de la zone noyau aux bords du reste de l'unité reste à déterminer, celle-ci est habituellement déterminée au regard du contraste et de l'orientation du bord adjacent au noyau (Baskent et Jordan [1995], Ripple et al. [1991] décrivent des techniques utilisées pour déterminer la zone

noyau). Les indices d' « interspersion » et de juxtaposition (McGarigal and Marks, 1995) mesurent l'étendue avec laquelle les types d'unités sont répartis. L'indice d'isolement calcule la distance entre une unité et les unités les plus proches appartenant à la même classe. L'indice de contagion permet à la fois de quantifier la composition et la configuration (O'Neill and all, 1988a) en mesurant l'importance avec laquelle les pixels d'une même classe sont agrégés.

### 3.5 Research of Ecological Relevancy : A Review of Landscape Fragmentation Metrics and Their Application for the Fundy Model Forest

**AUTEUR(s)** : Matthew BETTS

**Site Internet** : <http://www.unbf.ca/forestry/centers/fundy/metrics.htm>

**ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Greater Fundy Ecosystem Resarch Group (GFERG)

Cooperative Fish & Wildlife Research Unit, University of New Brunswick, Fredericton, NB, CANADA, E3B 6E1

**DATE DE PUBLICATION** : mai 2001, 18 pages

**PROPOSITIONS DE MOTS CLES** (descripteurs matières)

Fragmentation des habitats, indices d'écologie du paysage, mesures

**ANALYSE** (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)

Cet article rappelle les concepts de la biodiversité, de l'écologie du paysage et de la fragmentation, les indices utilisés et proposés pour mesurer la fragmentation et résume les indices d'écologie du paysage les plus explicites d'après la littérature.

La biodiversité est caractérisée à 4 échelles : la diversité génétique, la diversité des espèces, la diversité de la communauté et la diversité du paysage. De même, les effets de la fragmentation peuvent être regroupés en 4 catégories :

- la taille des unités, qui peut être déterminante pour la survie des populations ;
- la distance entre les unités (connectivité) : plus la distance entre les unités est faible, plus les corridors réduisent l'isolement de celles-ci et donc des populations ;
- la forme des unités : les formes compactes favorisent la conservation de la ressource, les formes tortueuses augmentent les interactions avec l'environnement, les formes allongées servent de corridor pour les espèces ;
- les lisières résultant du découpage du paysage par des éléments permanents (géologie, hydrologie, topographie), des perturbations naturelles ou anthropiques (agriculture intensive, infrastructures, etc.).

Les indices d'écologie du paysage permettent de quantifier la composition et la structure de ce dernier. Ces mesures permettent de comparer le degré de fragmentation de différents paysages ou les changements à l'intérieur d'un même paysage. Plusieurs mesures peuvent être réalisées par ces indices :

- la composition du paysage décrivant le nombre de classes d'occupation du sol et la surface qui leur est associée, la proportion de chaque classe par rapport à l'ensemble de l'occupation du sol, la diversité caractérisée par le nombre d'unités (*richness*) et leur proportion au sein du paysage (*evenness*) ;
- la taille des unités à condition que ces dernières soient facilement identifiables et identifiées ;
- l'effet de lisière pouvant être plus ou moins important en fonction des types d'unités adjacentes ;
- la configuration du paysage mettant en évidence le degré avec lequel les unités d'un paysage sont isolées ou connectées entre elles ;
- la forme des unités déterminée en fonction du nombre de lobes d'une unité ou par rapport à la différence d'une forme donnée avec une forme simple.

Une seule mesure ne permet pas de traduire la diversité de la composition et de la structure d'un paysage. Pour être pertinents, les indices d'écologie du paysage doivent prendre en compte les besoins des espèces liées à un type

d'habitat ou être utilisés pour mesurer l'évolution d'un paysage au cours du temps ou comparer plusieurs paysages entre eux.

### 3.6 Indices of landscape pattern

**AUTEUR(s)** : R.V. O'Neill<sup>1</sup>, J.R. Krummel<sup>2</sup>, R.H. Gardner, G. Sugihara<sup>3</sup>, B. Jackson<sup>4</sup>, DL. DeAngelis<sup>1</sup>, B.T. Milne<sup>5</sup>, M.G. Turner, B. Zygumt<sup>4</sup>, S.W. Christensen, V.H. Dale and R.L. Graham

**Site Internet** : <http://forestlandscape.wisc.edu/LandscapeEcology/Articles/v1i3p153.pdf>

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

<sup>1</sup>Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA

<sup>2</sup>Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA

<sup>3</sup>Scripps Oceanographic Institution, University of San Diego, La Jolla, CA 92093, USA

<sup>4</sup>Computer and Telecommunication Division, Martin Marietta Energy Systems, Inc., Oak Ridge, TN 37831, USA

<sup>5</sup>Biology Department, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87131, USA

**DATE DE PUBLICATION** : 1988, Landscape Ecology vol. 1 no. 3 pp 153-162

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Index, dominance, contagion, fractal

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants...)**

Eastern United States

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Les auteurs développent et testent trois indices de l'agencement spatial du paysage, le but étant de détecter et de quantifier l'agencement des types d'occupation du sol dans des paysages spatialement hétérogènes. Les analyses s'opèrent à partir de cartes d'occupation du sol comprenant 7 classes (urbain, territoires agricoles, pâturages, forêts, eau, zones humides, sols nus). Deux des indices développés se basent sur des mesures théoriques de l'information (Shannon and Weaver, 1962), le troisième se base sur la géométrie fractale (Mandelbrot, 1983).

L'indice de dominance D1 mesure dans quelle proportion un ou plusieurs types d'occupation du sol domine(nt) le paysage. Une grande valeur de dominance traduit un paysage dominé par un ou plusieurs types d'occupation du sol alors qu'une faible valeur de dominance traduit une proportion approximativement égale des types d'occupation du sol dans le paysage. L'indice de dominance fait partie des indices de composition ne faisant pas référence à l'arrangement spatial.

L'indice de contagion D2 mesure le degré d'agrégation ou de regroupement des types d'occupation du sol. Cet indice fait partie des indices de configuration faisant référence à l'arrangement spatial des objets. Les faibles valeurs de contagion, variant de 0 à 100, traduisent un paysage très morcelé alors que les fortes valeurs de contagion traduisent la présence d'unités contiguës dans le paysage.

L'indice de dimension fractale D3 mesure la complexité des formes d'un paysage. Nécessitant une information sur le périmètre et l'aire, cet indice s'applique sur des cartes au format vecteur. Si le paysage est constitué de formes géométriques simples comme des carrés ou des rectangles, la dimension fractale est faible voisine de 1,0. Au contraire, si le paysage se compose de plusieurs unités ayant des formes tortueuses et compliquées, la dimension fractales est grande (Krummel et al., 1987).

### 3.7 Infrastructures vertes et bleues – Guide méthodologique – Utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'expression des enjeux de l'Etat dans le cadre d'un SCoT – Application au territoire du Schéma de Cohérence Territoriale Sud-Loire

**AUTEUR(S)** : DIREN Rhône-Alpes, Asconit Conseil

#### **ORGANISME(S) COMMANDITAIRE(S) ET AUTRES FINANCEURS**

Travail financé par le Ministère de l'écologie et du développement durable (Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale) et le Ministère de l'équipement, issu de la collaboration de la DRE Rhône-Alpes et de la DDE de la Loire.

Groupe de travail mis en place pour la définition des infrastructures vertes et bleues : DDAF de la Loire, Conseil supérieur de la pêche, Office national de la chasse et de la faune sauvage, Parc naturel régional du Pilat, agence d'urbanisme EPURES.

**DATE DE PUBLICATION** : septembre 2005, 40 pages

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Déplacement doux, continuum écologique, milieu naturel remarquable, milieu naturel ordinaire

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Loire, FRANCE

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

SCoT Sud-Loire (Saint-Etienne Métropole, vallées de la Loire et du Gier, Montbrison soit plus de 100 communes, environ 1700 km<sup>2</sup>), FRANCE

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

##### **Définition**

Les infrastructures vertes et bleues correspondent à un ensemble d'espaces reliés et hiérarchisés comprenant à la fois les déplacements doux des hommes (espaces d'aménité reliant les lieux de vie et de loisirs du territoire) et les grands axes de déplacement des animaux ou continuums écologiques (garant de survie des populations et reliant les foyers de nature et de biodiversité de grands ensembles naturels). Les infrastructures vertes font référence aux milieux naturels boisés ou agricoles extensifs alors que les infrastructures bleues font référence aux milieux aquatiques ou zones humides.

##### **Données utilisées**

Les données et couches d'informations utilisées sont celles disponibles auprès des services de l'Etat (DIREN, DDE, DDAF, etc.). La construction des continuums écologiques se fait à partir de données d'occupation du sol de type CORINE Land Cover (échelles 1/50 000 au 1/100 000) ou SPOT Thema (échelle : 1/25 000).

##### **Méthodologie**

La méthodologie mise en œuvre pour les territoires du SCoT Sud-Loire s'inspire des expériences réalisées sur le département de l'Isère (programme REDI) et sur la Suisse (programme REN) mais adaptées aux thématiques du SCoT et au logiciel SIG Map Info.

La construction des continuums se fait à partir des éléments participant aux infrastructures vertes et bleues : les milieux naturels permettant les déplacements (milieux remarquables connus, milieux ordinaires facilitant plus ou moins les déplacements), les milieux artificialisés créant une rupture dans le continuum et les paysages (milieux répulsifs et obstacles caractérisés par un niveau de nuisance).

Les milieux naturels remarquables correspondent à des concentrations d'habitats favorables aux espèces animales : milieux naturels patrimoniaux dans les zones d'inventaires (ZNIEFF) et zones bénéficiant d'un statut de protection (arrêtés pour la protection des biotopes, zones Natura 2000, réserves naturelles, etc.). Ces milieux bien connus et délimités n'ont pas besoin d'être validés.

Les milieux de nature ordinaire sont organisés en 4 classes selon la probabilité de présence de l'espèce ou potentialité d'accueil du milieu vis-à-vis d'un cortège d'espèces et selon la perméabilité du milieu au déplacement de la faune ou coefficient de résistance du milieu au déplacement : les milieux structurants (milieux naturels de bonne qualité, réservoirs de population), les milieux attractifs (milieux favorables à la présence des espèces, peu anthropisés), les milieux peu fréquentés (peu favorables à la présence d'espèces, anthropisés), les milieux relais (milieux attractifs et peu fréquentés sans lien direct avec un milieu structurant), les milieux répulsifs (milieux non fréquentés par les espèces, ce sont des obstacles au déplacement). Ces catégories de milieux ordinaires nécessitent une validation d'expert sur le terrain.

Le guide technique détaille les étapes de la construction des infrastructures vertes et bleues avec le logiciel SIG Map Info.

### 3.8 Forest Loss, Habitat Fragmentation, and Wildness – Partie 3 : Analysis of Forest Habitat Fragmentation

**AUTEUR(s)** : Janice L. THOMSON, Chris WELLER, Betsy SEVERTSEN

**Site Internet** : <http://www.wilderness.org/Library/Documents/CascadeCrestForests.cfm>

**ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Wilderness Society, 1615 M Street, NW, Washington, DC 20036, USA

**DATE DE PUBLICATION** : septembre 2003, Wilderness Society, pp 13-24

**PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Fragmentation des habitat, indices d'écologie du paysage, effets de bord, unités d'habitat, zone noyau

**LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Etat de Washington, Etats-Unis d'Amérique

**LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

Cascade Mountains (Cascade Crest region), Etat de Washington, Etats-Unis d'Amérique

**ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Dans la troisième partie de l'article intitulé *Analysis of Forest Fragmentation*, l'étude utilise les indices d'écologie du paysage pour extraire l'information quantitative intervenant dans la fragmentation des forêts causée par l'abattage massif d'arbres et la construction de routes au niveau de la zone d'étude. Ce résumé présente la méthode utilisée.

La fragmentation des habitats forestiers est analysée à partir de trois couches d'information géographique : l'occupation du sol, les cours d'eau et les routes. L'occupation du sol concernant la zone d'étude et datant de 1999 est convertie au format vecteur. Les données correspondant aux cours d'eau et aux routes sont introduites dans la couche d'occupation du sol divisant alors celle-ci en plusieurs entités. Un buffer de 3 mètres de part et d'autre des éléments linéaires (cours et routes) est appliqué de façon à les faire apparaître dans la nouvelle carte d'occupation du sol au format raster. Trois indices d'écologie du paysage faciles à interpréter et devant être appliqués sur l'occupation du sol au format raster sont utilisés : l'indice de densité des contours (*Edge density*), l'indice permettant le calcul de la taille moyenne des entités (*Mean patch size*) et l'indice permettant de déterminer les zones noyau (*Core area*). Le calcul de ces indices est réalisé à partir du SIG ESRI ArcInfo implémenté d'une application RoadNET (Road Network Evaluation Tool) développée par le Centre d'Analyse du Paysage de la société Wilderness.

*Edge density* – Les éléments linéaires (cours d'eau, routes, etc.) fragmentent les paysages en divisant les unités d'habitat en unités de plus en plus petites ; ce qui augmente le nombre de contours d'entités dans le paysage. Le calcul de densité des contours permet de déterminer l'importance de la fragmentation en mesurant la longueur des contours par unité d'aire. Cette densité est calculée sur l'occupation du sol (intégrant les cours d'eau et routes) au format raster avec une maille carrée de 25 miles<sup>2</sup> (environ 40 km<sup>2</sup>) puis avec une maille carrée de 100 miles<sup>2</sup> (environ 161 km<sup>2</sup>) de façon à faire intervenir l'échelle dans le calcul (les espèces appréhendant le paysage de façon différente en fonction de leur taille). La densité est également calculée sur l'ensemble de la zone d'étude.

*Mean patch size* – La fragmentation des habitats entraîne d'une part la diminution de la taille des habitats, d'autre part l'augmentation du nombre d'habitats. La taille moyenne des unités d'habitat est calculée pour chaque maille carrée de 25 miles<sup>2</sup> puis de 100 miles<sup>2</sup> ainsi que l'ensemble de la zone d'étude.

*Core are* – les zones noyau correspondent aux parties des unités d'habitat suffisamment éloignées des bords ou lisières de manière à ce que les espèces ne soient pas dérangées. Les zones noyau prennent en compte un effet de lisière de 500 pieds (environ 152 mètres) et de 0,5 mile (environ 805 mètres). La distance de 0,5 mile peut être utilisée pour traduire un paysage non impacté par les activités humaines motorisées.

### 3.9 A spatial model to estimate habitat fragmentation and its consequences of long-term survival of animal populations

**AUTEUR(s)** : Jean-Philippe AURAMBOUT

**Site Internet** : <http://www.ucgis.org/summer03/studentpapers/jpaurambout.pdf>

**ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Department of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Illinois at Urbana Champaign, USA

**DATE DE PUBLICATION** : après 2003

**PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Fragmentation, habitat, connectivité, SIG

**ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Le modèle a été réalisé pour des espèces factices (*fraggles*) vivant en forêt, ayant un mode de déplacement terrestre uniquement et nécessitant un habitat ayant une superficie d'au moins 5 hectares. Ces espèces sont censées être capables de se déplacer de 300 mètres au-delà des habitats non forestiers mais incapables de traverser des territoires urbanisés.

La méthode utilisée pour évaluer la fragmentation et la connectivité des différentes unités d'habitat associe les SIG et la modélisation de la dynamique spatiale. La première étape de l'analyse identifie, à partir de la carte d'occupation du sol, toutes les unités d'habitat potentiellement propices aux espèces puis calcule le périmètre et l'aire de celles-ci. Les unités d'habitat favorables à ces espèces sont sélectionnées et si le rapport entre leur superficie et leur périmètre est supérieur ou égal à la valeur correspondant à un habitat circulaire de 5 hectares, les unités sont réintroduites dans l'occupation du sol. Le modèle de dynamique spatiale est alors utilisé pour déterminer la connectivité des unités d'habitat. La capacité maximale de charge de chaque unité se déduit en divisant leur aire par la surface de l'habitat.

Le modèle STELLA™ (software développé à l'Université du Maryland, Maxwell et al. 1999) a été créé pour déterminer le mouvement des espèces entre les unités d'habitat. Ce modèle produit, autour de chaque unité correspondant à un habitat favorable, une zone tampon correspondant à la distance maximale à laquelle les espèces peuvent aller au-delà de l'habitat favorable (c'est-à-dire 300 mètres). Toutes les unités situées à l'intérieur d'une même zone tampon sont connectées ; elles permettent les échanges entre les différentes populations et donc le brassage génétique de celles-ci. Le modèle STELLA™ est appliqué sur un raster ayant une résolution de 30 mètres. Pour un pixel correspondant à un habitat favorable pour l'espèce (ici la forêt), le modèle va analyser les 8 pixels qui l'entoure (verticalement, horizontalement et diagonalement). Dans le voisinage, les pixels correspondant à un type d'occupation du sol franchissable par l'espèce vont se voir affecter la même valeur que la classe d'habitat favorable. Les pixels correspondant à un type d'occupation du sol défini comme étant infranchissable vont être affectés à la valeur 0. Le procédé est effectué 10 fois ce qui correspond à une distance de dispersion de l'espèce de 300 mètres. Une « grille de migration » est obtenue. Elle correspond à la plus grande matrice pouvant être atteinte par les espèces factices lorsqu'elles migrent en dehors de leur zone d'habitat propre.

L'une des limites du modèle est qu'il considère que la probabilité d'atteindre une cellule étant définie comme franchissable est 1 alors qu'en réalité la migration de l'espèce vers d'autres types d'occupation du sol doit certainement conduire à d'importantes variations dans le taux de mortalité des individus. Elle a donc un impact sur la probabilité d'atteindre un lieu donné par l'espèce. Mais le but de ce modèle est de rechercher le flux de gènes entre les unités d'habitats plutôt que la probabilité de migration des espèces avec succès.

### 3.10 From land cover to landscape diversity in the European Union

Site Internet : <http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/index.htm>

#### ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(S) ET AUTRES FINANCEURS

DG AGRI, EUROSTAT

Join Research Centre (Ispra)

European Environmental Agency

DATE DE PUBLICATION : mai 2000

#### PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)

Indices d'écologie, paysage, composition, configuration, diversité, unités d'habitat, indice de fragmentation

#### LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants...)

Territoire européen

#### ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)

Cette publication présente le travail mené par la Commission des Services. Il est basé sur l'inventaire CORINE Land Cover disponible sur l'ensemble du territoire européen. Les études menées concernent la fragmentation, la diversité et l'hétérogénéité de l'occupation du sol, sa composition et son organisation spatiale.

La structure spatiale des paysages est associée à la composition et à la configuration des éléments de paysage. La composition fait référence au nombre et à l'occurrence des différents types d'éléments du paysage. La configuration englobe la distribution physique ou spatiale à l'intérieur d'un paysage (McGarigal et al., 1994). Leur quantification fait référence aux mesures de diversité, d'homogénéité et d'hétérogénéité.

Partie 1 : Capturing landscape structures : Tools

Gerd EIDEN\*, Maxime KAYADJANIAN\*, Claude VIDAL\*\* (\*CESD Communautaire, Land Use Program, \*\*Eurostat Directorate F)

Une unité (*patch*) représente une zone occupée par un seul type d'occupation du sol. La densité des unités exprime le nombre d'unités par unité d'aire (souvent 100 ha). Un bord ou lisière correspond à la limite entre deux classes d'occupation du sol différentes. La densité des lisières prend en compte la complexité des formes et l'hétérogénéité spatiale. L'indice de diversité de Shannon (SHDI) prend en compte le nombre de classes (*richness*) et la proportion de celles-ci (*evenness*). L'indice d'interspersion et de juxtaposition (IJI) prend en compte la configuration spatiale des classes, il tient compte des relations de voisinage entre celles-ci. L'adjacence entre les classes est analysée et l'étendue avec laquelle les classes sont bordées par d'autres classes est mesurée.

Partie 5 : Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas

Chris STEENMANS, Ulla PINBORG (European Environment Agency)

Le but de l'étude est de tester un indice caractérisant la connectivité et la fragmentation des espaces ayant un intérêt pour la conservation de la nature. La méthode développée présente l'indice de fragmentation des habitats causée par les activités humaines. Cet indice tient compte de l'urbanisation, des zones industrielles, de l'agriculture (terres arables et cultures permanentes), des infrastructures de transport sur les zones naturelles ou semi-naturelles comme les forêts ou massifs d'arbustes, les zones humides, les milieux ouverts. L'occupation du sol CORINE Land Cover, recodée en 7 classes, est utilisée avec une résolution de 250 mètres. Chaque type d'habitat est caractérisé par une valeur traduisant la pression de fragmentation qu'il exerce sur les habitats adjacents ou bien la pression de fragmentation auquel il est soumis. Cette valeur dépend du type d'occupation du sol.

- Les types d'occupation du sol contribuant à la fragmentation correspondent aux territoires artificialisés, aux zones agricoles ;

- Les types d'occupation du sol neutres correspondent à certaines zones végétalisées comme les pâturages, etc. ;
- Les types d'occupation du sol naturels ou semi-naturels subissant la fragmentation correspondent aux forêts, aux espaces ouverts, arbustes, zones humides, etc.

Lorsque les unités d'habitat, appartenant à un type d'occupation du sol naturel ou semi naturel, sont adjacentes, elles sont regroupées, sinon elles sont traitées comme des complexes naturels indépendants. Les unités d'habitat contribuant à la fragmentation (territoires artificialisés, agriculture intensive, etc.) sont supposées influencer les complexes naturels sur une distance d'au moins 500 mètres. Une zone tampon de 500 mètres est appliquée autour de ces éléments. Les zones naturelles situées à l'intérieur des zones tampons sont supposées être affectées (dérangées) par les unités d'habitat contribuant à la fragmentation, celles situées au-delà des zones tampon sont supposées être suffisamment éloignées de la source de dérangement pour ne pas être affectées par celle-ci. L'indice de fragmentation est calculé sur les zones naturelles ou semi-naturelles situées à plus de 500 mètres des zones de dérangement. Il est calculé à partir d'une grille pour chaque cellule de 25 km par 25 km.

$$\text{Indice de fragmentation} = \frac{\text{Nombre de pixels connectés appartenant au type d'occupation du sol naturel}}{\text{Surface moyenne des entités naturelles en km}^2 \times \text{Surface totale des entités naturelles en km}^2}$$

L'indice de fragmentation est enfin reclassé en 6 classes.

### 3.11 Méthode d'analyse des données écologiques et biogéographiques - Fragmentation des habitats et méta-populations

**AUTEUR(s) :** M. DUFRÊNE

**Site Internet :** <http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/outils/methodo/fragmentation.htm>

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Ministère de la Région Wallonne (MRW) – Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE)

Système d'Informations sur la Biodiversité en Wallonie (SIBW) – Observatoire de la Faune, de la flore et des Habitats, BELGIQUE

**DATE DE PUBLICATION :** mis en ligne sur Internet le 11/05/2003

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

fragmentation des habitats, mesures de la fragmentation, méta-population, modèles, simulation

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Belgique, Wallonie

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

Belgique, Wallonie

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Etude comportant 3 chapitres : Fragmentation des habitats, Méta-populations, Conséquences de la fragmentation sur les populations.

Le chapitre concernant la fragmentation des habitats s'intéresse en particulier aux mesures de la fragmentation, c'est-à-dire à la quantification de la taille et de la forme des différentes unités (« patch » en anglais) composant un habitat. Deux grands types d'indices sont utilisés pour mesurer la fragmentation de l'habitat : les indices mesurant l'hétérogénéité du paysage sans prendre en compte la localisation des unités d'habitat (surface moyenne des habitats, densité des unités d'habitat, nombre d'unité d'habitat d'un seul tenant, etc.), et les indices mesurant la connectivité des unités les unes par rapport aux autres en tenant compte de leur position relative (distance moyenne au plus proche voisin, isolement ou proximité des unités d'habitat, mesures de contagion, etc.).

Le chapitre suivant introduit et explicite le concept de méta-population et les modèles qui lui sont liés. Le modèle de Levins suppose que la proportion de sites occupés par une espèce dépend de l'équilibre entre les processus d'extinction et de colonisation. Ce modèle, géographiquement implicite, ne tient pas compte des coordonnées, des sites supposés avoir la même taille et être équidistants les uns des autres, ne suppose aucune auto-corrélation spatiale pour les processus d'extension et de colonisation, les sites sont vides ou occupés et la probabilité d'extension ne dépend pas de la taille de la population. D'autres modèles essayent de rendre spatialement plus explicite le modèle de Levins. Le modèle de Hanski (1991) intègre l'auto-corrélation spatiale des phénomènes de colonisation et d'extinction, leur dépendance avec la densité des populations observée sur le terrain mais aussi le rôle que l'immigration peut jouer en empêchant les extinctions locales et inclut les différences de qualités des habitats entre les différents sites (modèle « mainland-island » ou « core-satellite population »). Le modèle des « patchy populations » ou « populations en archipel » se caractérisent par des flux de migrants tels que tous les sites potentiels soient occupés et en interaction étroite, il n'y a pas de dynamique propre (Harrison, 1991). Le modèle des « méta-populations non équilibrées » se caractérise par des flux de migrants nuls, les extinctions ne sont pas compensées par des colonisations (Harrison & Taylor, 1997).

Enfin le dernier chapitre développe les modèles permettant de mesurer les conséquences de la fragmentation sur les méta-populations. Ces modèles vont tous dans le même sens à savoir que si la destruction ou la perturbation des habitats provoquent d'abord une augmentation de la diversité, il arrive assez vite un moment où les effets

complémentaires s'ajoutent à ceux de la destruction pour accélérer les processus d'érosion biologique. Des modèles de simulation ont été développés pour prédire le comportement du système de la manière la plus précise possible (logiciels VORTEX, ALEX). D'autres modèles sont plutôt destinés à tester différentes situations de terrain de manière à en simuler les conséquences en faisant varier aléatoirement différentes combinaisons de paramètres biologiques ou écologiques (logiciel RAMAS).

### 3.12 Méthode d'évaluation stratégique des réseaux de transports, tests pour la mise en évidence des enjeux environnementaux et utilisation d'indicateurs d'évaluation (rapport provisoire)

**AUTEUR(s)** : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, DNP - SDEA

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

CETE de Lyon, BCEOM, INGEROUTE

**DATE DE PUBLICATION** : août 1999, 47 pages

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Zones de calme, empreinte sonore, SIG, fragmentation de l'habitat

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Lyon, FRANCE

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants...)**

Lyon, FRANCE

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

##### **Définition des zones de calme**

Les zones de calme sont définies comme des territoires non soumis à l'empreinte sonore des activités anthropiques. Elles sont mises en évidence à partir de l'identification des sources bruyantes, de la création d'une empreinte sonore en fonction des classes de trafic afin de constituer des zones de nuisances sonores, de l'identification des zones des espaces calmes, du calcul de la surface de chaque espace et de la hiérarchisation des zones calmes en fonction de leur surface (le trafic étant l'élément de base pour l'appréciation des nuisances sonores).

##### **Sources de données**

Infrastructures routières : les types d'infrastructures à identifier sont les autoroutes et les routes à fort trafic (> 4000 véhicules/jour)

la **BD CARTO®** établie au 1/50 000 (utilisation nationale et régionale) permet d'identifier les voies à circulation autoroutière et les voies à grande circulation ;

la **BD MICHELIN®** établie au 1/400 000 (utilisation nationale) permet d'identifier le réseau autoroute, le réseau type autoroutier et le réseau principal.

Ces deux sources de données ont des référentiels différents tant en géométrie qu'en nomenclature.

Voies ferrées : les types d'infrastructures à identifier sont les voies ferrées TGV existantes, les voies ferrées TGV en construction et les voies ferrées principales très fréquentées.

la **BD des Cartographes Associés libre de droit** établie au 1/100 000 est incompatible pour une exploitation au niveau régional ;

le fichier numérique issu d'une digitalisation de la carte fournie par la SNCF permet d'identifier les lignes à grande vitesse, les lignes à grande vitesse en construction et les lignes à desserte de voyageurs électrifiées ;

les informations ferroviaires de la **BD CARTO®** établie au 1/50 000 permettent d'identifier les tronçons à grande vitesse exploités, les tronçons à grande vitesse en construction et les voies normales avec un nombre de voies égal ou supérieur à 2.

Zones urbanisées : CORINE Land Cover, **BD CARTO®**, **BD MICHELIN®**, **BD des Cartographes Associés**.

D'un point de vue technique, la **BD CARTO®** a été jugée comme la base de données la plus pertinente avec une nomenclature représentative des indicateurs de trafic, une précision compatible avec des exploitations régionales cohérentes et une maintenance dans l'avenir.

## Empreinte sonore

Une empreinte sonore latérale en mètres est déterminée pour chaque type d'infrastructures ou zones urbanisées en fonction de la typologie de celles-ci. Cette empreinte varie de 1500 mètres pour les réseaux routiers principaux ou voies à grande circulation et pour les voies ferrées normales, à 3500 mètres pour les autoroutes et les LGV. Pour les zones urbanisées, l'empreinte sonore varie de 500 à 1000 mètres pour les zones U et apparaît incluse dans l'empreinte sonore des infrastructures linéaires. La surface de chaque espace délimité par les limites des empreintes sonores est calculée et les espaces non soumis au bruit (zones de calme) sont hiérarchisés en fonction de leur surface pour mettre en évidence les principales zones d'enjeu national.

## Biodiversité

La fragmentation de l'habitat dégrade la biodiversité biologique du territoire selon le morcellement, l'insularité, l'effet de lisière et la coupure. Les zones à enjeu vis-à-vis de la biodiversité sont mises en évidence à partir de l'identification des éléments de fragmentation, du calcul des surfaces non fragmentées, du calcul de la surface des espaces d'intérêt biologique contenus dans les zones non fragmentées et de la hiérarchisation des zones à enjeu.

Les éléments de la fragmentation sont identifiés à partir :

- des grandes frontières naturelles ;
- des grandes infrastructures : le seuil de trafic sur le réseau routier susceptible d'entraîner des perturbations dans les déplacements de la faune et donc le fractionnement des territoires a été apprécié à 4000 véhicules/jour (BCEOM, 1997) ;
- des cours d'eau et canaux : les critères sélectionnés pour les juger infranchissables sont la largeur des cours d'eau fixée à 100 mètres, les caractéristiques des berges définies comme étant abruptes et le caractère navigable des cours d'eau et canaux ;
- des zones urbanisées : celles contiguës aux infrastructures de transport sont agrégées puis extraites des zones non fragmentées.

Huit types de zonages représentatifs d'un intérêt biologique ont été retenus du fait de leur dimension suffisante au niveau national : réserve de biosphère, parcs nationaux, parcs naturels régionaux, massifs forestiers à cervidés, zones humides, zones de protection spéciale, ZICO et ZNIEFF de types 1 et 2.

L'identification des enjeux est basée sur le couple surface non fragmentée – surface d'intérêt biologique.

### 3.13 Quantitative approaches to landscape spatial planning : clues from landscape ecology

AUTEUR(s) : R. LAFORTEZZA<sup>1</sup>, R.C. CORRY<sup>2</sup>, G. SANESI<sup>1</sup> & R.D. BROWN<sup>2</sup>

Site Internet : <http://library.witpress.com/pdfs/abstracts/SPD05/SPD05024AU1.pdf>

#### ORGANISME(S) COMMANDITAIRE(S) ET AUTRES FINANCEURS

<sup>1</sup>Department of Plant Science, University of Bari, Italy

<sup>2</sup>School of Environmental Design and Rural Development, University of Guelph, Ontario, CANADA

DATE DE PUBLICATION : 2005, WIT Transaction Ecology and the Environment, Vol. 84 – Sustainable Development and Planning II, Vol. 1, pp 239-250

#### PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)

Indices d'écologie du paysage, structure paysagère, modèle « coût de déplacement », déplacement des populations

#### ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)

Cet article décrit deux approches complémentaires pour l'analyse de modèle de paysage : les indices de patron paysager et la modélisation du « coût de déplacement ».

Les indices de patron paysager quantifient la composition et la configuration des écosystèmes à travers un paysage (taille d'une unité d'habitat, distance au plus proche voisin, indice de proximité, etc.), ils permettent donc une comparaison quantitative entre les différents paysages ou à l'intérieur d'un même paysage à des dates différentes. Les indices de patron paysager donnent une information sur la structure de la mosaïque paysagère (composition physique et configuration) sans référence explicite aux fonctions écologiques : les éléments du paysage étant indépendants des éléments situés dans la matrice paysagère, les relations existent seulement à l'intérieur d'un seul type d'occupation du sol. Le modèle du « coût de déplacement » considère la matrice située entre chaque unité d'habitat comme un facteur important intervenant dans le mouvement des espèces, c'est-à-dire qu'il intègre la connectivité fonctionnelle du paysage. Ce modèle évalue les connexions potentielles entre différents éléments du paysage (unité d'habitat) permettant ainsi une estimation quantitative de la connectivité ou de la fragmentation d'un paysage.

Le logiciel FRAGSTATS (McCarigal K. & Marks B.J., 1995) permet de calculer des centaines d'indices pouvant être appliqués à une seule unité d'habitat, à un type d'unité d'habitat ou bien sur l'ensemble des unités d'habitat d'un paysage. Les indices de patron paysager peuvent effectuer des mesures simples (nombre d'unités d'habitat, aire d'une classe d'occupation du sol, etc.) mais également des mesures plus complexes (contrastes de bordures, interception et juxtaposition des types d'unités d'habitat, etc.). Ces mesures peuvent être réalisées sur des données au format vecteur mais surtout au format raster. Les valeurs des indices peuvent être bornées ou non, sans unité, en pourcentage ou en unité de carte. Bien que les valeurs des indices soient difficiles à interpréter pour caractériser la fonction écologique, ceux-ci sont des outils utiles dans la comparaison des différents paysages. Le problème de ces indices est que leur valeur varie souvent en fonction de la résolution de l'image et de l'échelle à laquelle on travaille.

La modélisation du « coût de déplacement » peut être utile pour déterminer la configuration spatiale des éléments d'un paysage (isolement, connectivité), en l'absence d'observations du mouvement des espèces. Cette approche se traduit par l'utilisation d'un modèle simple appelé « coût de déplacement » (Adriaensen & al., 2003) ou « moindre-résistance » (Lafortezza & al., 2004). Deux grilles sont nécessaires pour exécuter l'algorithme : une « grille source » définissant la source et la destination des unités (ex. : unités d'habitat d'où les espèces sont susceptibles d'émigrer) et d'une « grille de coût » décrivant le coût participant au déplacement à travers n'importe quelle cellule de la grille. Dans la « grille de coût », la valeur numérique attribuée à chaque cellule représente le coût par unité de distance du passage à travers une cellule (l'unité de distance correspondant à la largeur de la cellule). Dans les applications de planification du paysage, ce coût peut représenter le degré avec lequel les éléments de paysage facilitent ou au contraire s'opposent au mouvement des espèces à travers le paysage, en considérant les aspects comportementaux des espèces locales ou d'un groupe d'espèces (Taylor & al., 1993). L'algorithme de « moindre-résistance » calcule

pour chaque cellule le coût minimal permettant d'atteindre une unité d'habitat donnée depuis la cellule source ou ensemble de cellules sources (Verbeylen & al., 2003).

### 3.14 Les corridors biologiques en Isère : Projet de Réseau Ecologique Départemental de l'Isère (REDI)

**AUTEUR(s)** : BERTHOUD G. et all., ECONAT, Yverdon-les-Bains, SUISSE

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(S) ET AUTRES FINANCEURS**

Conseil Général de l'Isère : Service Environnement et Développement Durable

**DATE DE PUBLICATION** : septembre 2001, 70 pages

**NUMERO DE MARCHE OU DE CONTRAT**

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Réseau écologique, zone nodale, zone de développement, corridor biologique, continuum, coût de déplacement, point de conflit

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Isère, FRANCE

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants...)**

Isère, FRANCE

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

##### **Définition**

Le REDI est constitué des éléments suivants :

les **zones nodales** (synonymes : zone-noyau, zone-source) constituent des espaces vitaux suffisants pour l'accomplissement de toutes les phases de développement d'une population ;

les **zones de développement** correspondent à des espaces vitaux partiellement suffisants pour l'accomplissement des phases de développement d'une population ;

les **corridors biologiques** ou corridors à faune sont des espaces libres d'obstacle offrant des possibilités d'échanges entre les zones nodales et/ou les zones de développement. Un corridor est plus ou moins structuré par des éléments naturels ou subnaturels augmentant ainsi ses capacités de fonctionnement (vallon, cours d'eau, haie, lisière forestière, etc.) ;

les **continuum**s représentent l'ensemble des milieux favorables ou simplement utilisables temporairement par un groupe écologique. Les continuum identifiés par le REDI sont les **continuum forestiers** (formés de forêts, de zones arborées ou buissonnantes, de prairies et de cultures proches des lisières), les **continuum agricoles extensifs** (constitués de milieux agricoles diversifiés, de prairies, de pâturages et de bocages), les **continuum prairiaux** thermophiles ou hygrophiles (constitués de prairies, de pâturages, de cultures isolées, de vergers et de bocages), les **continuum aquatiques** (liant les cours d'eau, les marais, les prairies et les cultures en zones alluviales), les **continuum écotonaux** (formés des ensembles d'éléments structuraux linéaires tels que les lisières forestières, les haies, les talus, les berges de cours d'eau et les pieds de coteaux).

##### **Données de références**

Les données de références utilisées ont été fournies par le Conseil Général de l'Isère ou par les auteurs des cartes (au format numérique vectoriel ou raster). Elles comprennent les données des inventaires nationaux et la couverture d'utilisation du sol CORINE Land Cover, les réseaux hydrographiques, routiers, ferroviaires issus de la BD CARTO® de l'IGN, le modèle numérique d'altitude issu de la BD ALTI® de l'IGN, les cartes topographiques au 25 000<sup>ème</sup>

(SCAN 25®), la couverture satellitaire du département (images SPOT), la carte de la végétation de la France au 200 000<sup>ème</sup> (Richard et Pautou, 1982).

## Modélisation

La modélisation du REDI est effectuée en quatre étapes :

- l'analyse de la fragmentation paysagère par cartographie des obstacles naturels et artificiels d'une région ;
- la localisation des biotopes remarquables servant de **zone-sources** pour les différents groupes écologiques ;
- l'identification des **continuums** propres à chaque groupe écologique ;
- l'identification du réseau des **corridors**.

Les **zones nodales** sont déterminées à partir des différents périmètres de sites protégés ou inventoriés : les milieux bénéficiant ou non d'une base de protection légale sont sélectionnés à partir d'inventaires reconnaissant leur diversité ou l'importance de leur population, les listes d'espèces ou d'habitats caractéristiques dont la répartition géographique et connue sont établies, la présence des espèces caractéristiques est vérifiée sur le terrain.

Les 5 types de **continuums** énumérés ci-dessus sont déterminés à partir de deux paramètres : d'une part à partir des groupes écologiques des milieux et d'espèces emblématiques de la faune liée à ces derniers, d'autre part à partir des catégories d'utilisation du sol CORINE Land Cover s'y reportant. Pour chaque type de continuum, un coefficient de résistance aux déplacements de la faune est affecté en fonction des groupes de milieux représentatifs du paysage (C = 0, 5, 30, 100 ; un coefficient de 100 points constituant un obstacle estimé infranchissable). Les continuums des groupes sont calculés à partir des zones nodales sélectionnées en appliquant l'algorithme de calcul du "**coût de déplacement**". Ce "coût de déplacement" est obtenu en additionnant le produit de la distance parcourue avec un coefficient de résistance du milieu au déplacement fixé en fonction de l'utilisation du sol des zones adjacentes. La formule suivante présente le coût de déplacement du compartiment 1 vers le compartiment 3.

$$C_{1-3} = \left( \frac{R_1 + R_2}{2} \cdot D_{1-2} \right) + \left( \frac{R_2 + R_3}{2} \cdot D_{2-3} \right)$$

Avec : C : coût de déplacement,  
R : le coefficient de résistance au milieu  
D : la distance parcourue en mètres.

Un maillage de 100 mètres est utilisé pour définir les continuums. La limite supérieure pour la délimitation d'un continuum est fixé à 3000 points.

Le réseau écologique provisoire est élaboré sur la base d'une combinaison des données de continuums potentiels élaborés à partir de l'algorithme "coût de déplacement" et combinées avec les données disponibles sur les corridors à grande faune. Les milieux des continuums situés dans une zone de protection (etc.), sont retenus comme éléments constitutifs des zones nodales, ceux situés en dehors des zones de protection sont retenus comme zones d'extension. Le résultat est enfin complété par les surfaces non sélectionnées dans un continuum mais présentes dans un corridor à faune probable ou calculées, de manière à obtenir une indication synthétique complète des zones d'échanges potentielles à revitaliser.

Les données sont validées en 3 étapes : la vérification du réseau provisoire à l'aide d'images satellites SPOT, la collecte des informations existantes, les validations de terrain.

## Résultats

Les résultats présentent des principes généraux basés parfois uniquement sur des hypothèses non validées.

Les **points de conflit** sont identifiés en superposant les continuums et les corridors potentiels avec la cartographie des obstacles et des zones d'urbanisation, puis vérifiés sur le terrain pour une description plus détaillée. Les remarques précisent les problèmes identifiés et les propositions de mesures d'aménagement et de gestion.

L'état des réseaux écologiques est détaillé dans un tableau pour chaque district naturel. Ce tableau précise pour chaque district quelques généralités concernant celui-ci (superficie totale, géologie, occupation du sol et pourcentages des surfaces par catégorie de milieux, pourcentages des surfaces utilisées par les continuums, peuplement humain, principales infrastructures de transport) et décrit chaque continuum (typologie des milieux, structuration spatiale, état naturel, développement des continuums, état de la fragmentation, enjeux patrimoniaux, mesures préconisées).

## Applications

La hiérarchisation des éléments du REDI se fait par la distinction des zones nodales et des zones de développement à partir de l'évaluation de 3 facteurs selon la méthode d'évaluation du potentiel écologique des milieux (Berthoud et al. 1989) :

- le facteur qualité utilisé pour l'évaluation de la diversité en espèces, leur rareté, la naturalité des milieux ;
- le facteur capacité permettant d'évaluer la surface occupée, la complexité de structure, le niveau de protection contre les perturbations externes ;
- le facteur de fonctions permettant d'évaluer le rôle de refuge des milieux, le rôle de site favorable à la reproduction, le rôle de site de nourrissage et le rôle des milieux de déplacement, d'échanges et de cheminement.

Les étapes suivantes sont préconisées par le REDI dans les mesures à adopter pour la défragmentation :

- l'analyse du potentiel d'utilisation par la faune des ouvrages de franchissement existants ;
- l'établissement d'un programme de réhabilitation des ouvrages favorables pour la faune ;
- le concept de rétablissement de la perméabilité à long terme des tracés autoroutiers ou ferroviaires existants ;
- la stratégie de prise en compte des réseaux de la faune dans les nouveaux projets autoroutiers.

### 3.15 Réseau écologique national (REN) – rapport final

**AUTEUR(s)** : ECONAT (Bureau d'études en écologie appliquée), Yverdon-les-Bains, SUISSE

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), division Nature, section Compensation écologique, Berne, SUISSE

**DATE DE PUBLICATION** : 2004, 132 pages

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Réseau écologique, zone nodale, zone de développement, corridor biologique, continuum, coût de déplacement, point de conflit

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

SUISSE

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

SUISSE

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

##### **Définition du concept de réseau écologique**

Les mécanismes de transformation du paysage s'expliquent par la banalisation des espaces, l'affaiblissement des dynamiques évolutives, le découpage sectoriel des écosystèmes.

Le réseau écologique paneuropéen (REP) se définit par :

- les zones nodales correspondant à des espaces naturels de haute valeur du point de vue de la biodiversité dans lesquelles se trouvent des espèces et/ou des écosystèmes particuliers. Ces zones nodales doivent assurer le rôle de réservoir pour la conservation des populations et pour la dispersion des espèces vers les autres espaces vitaux potentiels ;
- les zones tampons visent à protéger une zone nodale des effets d'une gestion perturbatrice des zones périphériques ;
- les zones de restauration dans les paysages fragmentés ou dégradés permettent d'améliorer les potentialités de conservation des zones nodales ou de favoriser les liaisons entre les espaces vitaux ;
- les corridors biologiques sont les éléments de liaison fonctionnels entre les écosystèmes ou entre les différents habitats des espèces permettant à ces derniers de se déplacer. Ils correspondent souvent à des surfaces linéaires assurant principalement les échanges génétiques et physiques des espèces entre les zones nodales.

Les éléments des réseaux écologiques constituent un système spatial structuré permettant les déplacements de la faune :

- les déplacements individuels, journaliers et locaux, effectués dans un domaine restreint ;
- les déplacements collectifs spécifiques, saisonniers et locaux, visant à satisfaire des besoins vitaux réguliers (repos, nourrissage, reproduction) ;
- les déplacements de dispersion entre le lieu de naissance et les lieux de reproduction, souvent éloignés du groupe familial et habituellement sans retour au lieu de naissance ;
- les déplacements bidirectionnels réguliers de migration, habituellement saisonniers, effectués par exemple entre des zones de nourrissage estival et des zones d'hivernage.

#### **Approche et définition pour la démarche du REN**

Le but du REN est de définir les structures générales des réseaux spécifiques et de cartographier les diverses fonctionnalités du paysage. Il permet d'apprécier correctement les enjeux régionaux et les incidences probables d'un projet sur les écosystèmes et les espèces patrimoniales. Le REN prend en compte les déplacements terrestres, aquatiques et aériens. Il reprend les éléments de réseaux décrits dans le REP en y ajoutant notamment la notion de continuum.

Un continuum est l'ensemble des milieux favorables à un groupe écologique et est composé de plusieurs éléments continus (sans interruption physique) y compris des zones marginales appartenant à d'autres continuums ou simplement accessibles pour des activités temporaires. Il inclut :

- une ou plusieurs zones nodales ;
- des zones d'extension de moindre qualité que les zones nodales mais correspondant au même type générique de milieu ;
- des marges complémentaires partiellement ou temporairement utilisées par la faune caractéristique du continuum, mais d'un autre type de milieu. L'utilisation de cette marge complémentaire dépend de la capacité des animaux à s'éloigner des zones de lisières ou des zones refuges. Elle sert de corridor pour de nombreuses espèces généralistes mais aussi pour quelques espèces spécialisées au cours de leur phase de dispersion.

Le REN définit 5 types de continuums : les continuums forestiers, les continuums agricoles extensifs, les continuums prairiaux thermophiles, les continuums des zones humides et les continuums aquatiques en fonction des groupes écologiques des milieux et d'espèces emblématiques de la faune liée à ces derniers, et en fonction des catégories d'utilisation du sol s'y reportant (cf. REDI).

Ces continuums se composent de :

- zones nodales correspondant à des milieux favorables à un groupe écologique végétal et animal et constituant des espaces vitaux suffisants pour l'accomplissement de toutes les phases de développement d'une population. Elles sont déterminées à partir des inventaires nationaux ou régionaux, des sites protégés, des observations sur le terrain, etc. ;
- zones d'extension similaires aux zones nodales mais de qualité ou de surface insuffisantes pour l'accomplissement de toutes les phases de développement d'une population. Elles sont déterminées à partir des milieux transformés dont la transformation est réversible (ex. ruisseau canalisé, forêt plantée de résineux en plaine) ou à partir de milieux partiellement transformés contigus ou suffisamment proches d'une zone nodale pour être constamment colonisés par les espèces caractéristiques de la zone nodale. Les zones d'extension sont incluses dans le même continuum que les zones nodales ;
- les zones de développement correspondent à l'ensemble des milieux favorables à un ou plusieurs groupes écologiques végétaux et animaux, elles constituent des espaces vitaux partiellement suffisants pour l'accomplissement des phases de développement d'une population mais dans lesquelles des zones nodales ne sont pas identifiées. Elles sont situées hors d'un continuum fonctionnel car peu accessible par l'éloignement ou par la présence d'obstacles difficilement franchissables. Elles peuvent être incluses dans un corridor de connexion et jouer le rôle important de biotope-refuge ou de structure-guide dans les corridors. Les zones de développement sont déterminées comme étant un milieu favorable analogue à une zone nodale ou une zone d'extension mais leur superficie est insuffisante ou trop éloignée des zones nodales pour maintenir des populations ou espèces caractéristiques viables à long terme ;
- les corridors écologiques sont des espaces hors continuum, libres d'obstacles, offrant en priorité des possibilités d'échanges entre les zones nodales et/ou de développement. Ils sont déterminés à partir d'observations directes ou indirectes confirmant l'existence de déplacements de la faune par la présence de biotopes-refuges ou de structures-guides.

### 3.16 Réseau maillé d'espaces naturels, agricoles et paysagers : Un système vert pour l'aire urbaine de Lyon

**AUTEUR(s)** : Agence de l'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise

#### **ORGANISME(s) COMMANDITAIRE(s) ET AUTRES FINANCEURS**

Groupe de travail réseau maillé : D.R.E. Rhone-Alpes, DIREN Rhône-Alpes, D.R.A.F. Rhône-Alpes, Conseil Général de l'Ain, Conseil Général de l'Isère, Conseil Général de Loire, Conseil Général du Rhône, Communauté Urbaine de Lyon, Chambre Régionale d'Agriculture, EPURES (Agence d'urbanisme de la région stéphanoise), CETE Isle d'Abeau

**DATE DE PUBLICATION** : mai 1999, 159 pages

#### **PROPOSITIONS DE MOTS CLES (descripteurs matières)**

Corridor, diversité génétique, déplacements

#### **LOCALISATION ADMINISTRATIVE (commune, département, région, pays)**

Rhône-Alpes, FRANCE

#### **LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (lieux-dits, massifs, parcs, réserves, cours d'eau, bassins versants....)**

Lyon, FRANCE

#### **ANALYSE (objet, but de l'étude, méthodes, résultats, conclusions)**

Le réseau maillé s'articule autour de sept composantes spatiales interdépendantes :

- les cœurs verts correspondent à des territoires ressources du milieu naturel, rural, paysager et récréatif ;
- les espaces de transition formalisent les zones de contact entre les grands sites naturels et les sites urbains ;
- les couronnes vertes d'agglomération, situées en limite de tache urbaine, marquent les limites de la ville ;
- les liaisons vertes sont des continuités de linéaires verts désenclavant les territoires urbains et les reliant aux grands espaces naturels par des circulations douces et paysagères de loisir ;
- les anneaux verts créent des coupures dans les axes urbanisés où ils font pénétrer la nature (vocation de loisir national / proximité) ;
- les trames vertes d'agglomération traduisent les espaces intra urbains peu ou pas construits s'appuyant sur des espaces à dominante naturelle, boisée ou agricole ;
- les grands centres urbains et de vallées sont généralement marqués par un solide réseau d'infrastructures routières accompagnant un phénomène de conurbation.

La notion de corridors écologiques répond à la nécessité de considérer les différents échanges naturels dans leur globalité. Force est de constater que les petites populations de la même espèce rares totalement isolées d'autres populations de la même espèce et ayant souvent des effectifs faibles avec une diversité génétique réduite sont bien souvent vouées à la disparition. Les échanges entre populations d'une même espèce sont donc essentiels pour permettre de conserver leur diversité génétique.

Les types de cheminements le long des corridors écologiques impliquent plusieurs types de déplacements :

- les déplacements à grande distance correspondant à des grands couloirs de migration à l'échelle du continent (vol, vent) ;
- déplacements de population liés à la continuité du réseau hydraulique et aquatique (cours d'eau, zones humides) ;

- les déplacements liés à des réseaux cohérents de milieux terrestres favorables (maillage des bocages pour le peuplement de passereaux, densité d'un réseau de pelouses sèches pour le déplacement d'insectes, échanges de pollen ou semences pour les plantes.

L'impact de l'aménagement du territoire est important dans ces déplacements de populations. Les structures urbaines ou routières peuvent bloquer les déplacements de vertébrés et d'insectes, les vastes zones agricoles intensives peuvent constituer un obstacle infranchissable, les rideaux d'arbres denses et continus peuvent empêcher le déplacement de certains insectes de pelouse ou de zones humides, etc.

## 4 Glossaire

*Ce glossaire a été réalisé à partir de celui du Réseau Ecologique National Suisse (REN) complété par l'utilisation de divers documents.*

### **Biocénose**

Totalité des êtres vivants peuplant un écosystème donné. Pour les plantes on parle d'associations végétales, pour les animaux de zoocénoses, pour les insectes d'entomocénoses. (Fischesser). Synonyme : peuplement

### **Biotope**

Territoire occupé par une biocénose. Ensemble des facteurs physiques, chimiques et climatiques, relativement constants, constituant l'environnement de cette biocénose. C'est la composante non vivante d'un écosystème qui renferme des ressources suffisantes pour assurer le développement et le maintien de la vie. (Fischesser)

### **Connectivité biologique**

Mesure des possibilités de mouvement des organismes entre les taches de la mosaïque paysagère. Elle est fonction de la composition du paysage, de sa configuration (arrangement spatial des éléments du paysage) et de l'adaptation du comportement des organismes à ces deux variables. (Burel & Baudry ed.2003)

### **Connectivité structurelle**

Mesure de l'arrangement spatial des éléments du paysage qui prend en compte la contiguïté entre éléments de même nature. C'est une mesure cartographique. (Burel & Baudry ed.2003)

### **Continuités agricoles ouvertes**

Formes que prennent, dans l'espace et dans le temps, les enchaînements des espaces ouverts des cultures et des pâtures.

### **Continuités naturelles fermées**

Formes que prennent, dans l'espace et dans le temps, les enchaînements de motifs de naturalité. Ces enchaînements forment des continuités actuellement ou potentiellement fermées.

### **Continuités ouvertes**

Continuités formées par les espaces ouverts soit de l'espace public soit de l'agriculture, et autorisant l'expérience paysagère.

### **Continuum**

Ensemble des milieux favorables à un groupe écologique et composé de plusieurs éléments continus (sans interruption physique), y compris des zones marginales appartenant à d'autres continums ou simplement accessibles pour des activités temporaires.

Il inclut par conséquent :

- une ou plusieurs zones nodales,
- des zones d'extension de moindre qualité que les zones nodales mais correspondant au même type générique de milieu,
- des marges complémentaires partiellement ou temporairement utilisées par la faune caractéristique du continuum, mais d'un autre type de milieu. Cette enveloppe externe est importante comme zone de gagnage et de déplacement pour l'ensemble de la faune caractéristique du continuum. L'utilisation de cette marge complémentaire dépend de la capacité des animaux à s'éloigner des zones de lisières ou des zones refuges. Cette marge de continuum est très polyvalente. Elle sert notamment de corridor pour de nombreuses espèces généralistes, mais également pour quelques espèces spécialisées, au cours de leur phase de dispersion.

## Corridor

Liaison fonctionnelle entre écosystèmes ou entre différents habitats d'une espèce, permettant ses déplacements, sa dispersion voire sa migration. Un corridor fonctionnel pour une espèce ou un groupe d'espèces peut avoir un effet barrière pour d'autres. La physionomie d'un corridor diffère des éléments adjacents et ils sont souvent classés en trois types : structure linéaire, présence d'îlots refuges («stepping stones»), voire éléments de la matrice non hostiles à l'espèce. La terminologie des corridors, fortement variable et contradictoire, est employée dans divers contextes.

**Synonymes et notions proches** : corridor d'habitats, corridor de dispersion, corridor de déplacement, corridor de faune, corridor écologique ou couloir biologique, bio-corridor, liaison paysagère, coulée verte, etc.

## Corridor biologique

Ce sont des structures spatiales qui assurent la connexion entre deux sous-populations (ou patches) et permettent ainsi la migration d'individus (plantes ou animaux) et donc un flux de gènes (stratégie apparue comme une possibilité de gestion en conservation pour les espèces menacées du fait de la fragmentation de leur habitat). (Définition présentée dans le cadre de la réalisation de la thèse de Florence NOEL intitulée : « L'étude des corridors biologiques en biologie de la conservation », MNHN)

## Corridor écologique

Ils constituent des structures spatiales n'engageant aucune notion génétique (mouvements entre les différents habitats saisonniers pour une espèce par exemple). (Définition présentée dans le cadre de la réalisation de la thèse de Florence NOEL intitulée : « L'étude des corridors biologiques en biologie de la conservation », MNHN)

## Ecosystème

Unité écologique fonctionnelle douée d'une certaine stabilité, constituée par un ensemble d'organismes vivants (biocénose) exploitant un milieu naturel déterminé (biotope). Cette notion intègre également les interactions des espèces entre elles et avec leur milieu de vie. (Fischesser)

## Effet de lisière

Un effet supplémentaire, distinct des flux spatiaux, apparaît parce que les « lisières » ont souvent des caractéristiques propres aux frontières physiques entre habitats. Les lisières peuvent également avoir des influences importantes sur la dynamique écologique d'un habitat fragmenté. On peut supposer que les lisières sont limitées abruptement, mais dans la réalité il y a souvent d'amples gradients de transformation de l'habitat originel, appelés **effets de bordure**, qui sont perçus significativement par les espèces présentes dans les fragments d'habitats. En fonction de la structure physique de la lisière, la pénétration du fragment paysager peut en être plus ou moins difficile. En corollaire à l'effet de lisière, on observe un effet d'organisation des flux, qui crée une augmentation hautement significative des probabilités de contact avec une espèce donnée lorsqu'on se trouve à proximité d'une lisière entre habitats ou d'un obstacle physique. Ce mécanisme est largement mis à profit par les prédateurs dans leur technique de chasse, mais il est également à l'origine de nombreux corridors de dispersion dans les paysages transformés.

## Effets de dispersion

La fragmentation implique habituellement des modifications des stratégies spécifiques de dispersion, dans les fragments du paysage original :

1. Dans les surfaces résiduelles, la colonisation peut compenser les pertes continues dues au déclin et à l'extinction locale de populations. Plus un paysage est fragmenté, plus la distance moyenne entre les fragments d'habitats sera grande, ce qui diminue le taux de recolonisation sur les surfaces récemment abandonnées et entraîne des densités plus faibles sur les surfaces occupées. Cette dispersion considérablement réduite peut mener régionalement à un risque élevé d'extinction. Ce risque peut être partiellement compensé par des réseaux de corridors.

2. Notons également que, selon la théorie des îles (MacArthur et Wilson 1967 ; Brown & Kodric-Brown 1977), la dispersion est plus importante vers les plus grandes surfaces parce que ces dernières constituent de plus grandes « cibles », facilitant de ce fait leur recolonisation après l'extinction.

3. La plupart des espèces se dispersent pendant leur cycle de vie. Les habitats non fragmentés se composent souvent d'une mosaïque d'éléments paysagers hétérogènes, qui diffèrent notamment par leurs aspects qualitatifs et quantitatifs. La dispersion perturbée par la fragmentation ne permet plus aux espèces d'exploiter de manière optimale la variabilité spatio-temporelle des habitats « en rétablissant la moyenne » à travers des conditions locales particulières. La fragmentation perturbe ainsi un des mécanismes essentiels de la stabilisation spatiale des populations.

### **Effets de l'hétérogénéité du paysage**

Les fragments d'habitats ne doivent pas être considérés comme des îles, mais constituent au contraire les éléments d'un type d'habitat incorporés dans divers ensembles d'habitats alternatifs. Étant donné que l'organisation sociale est modifiée et que les individus se dispersent asymétriquement dans les paysages hétérogènes, les fragments d'habitats et la matrice paysagère environnante constituent obligatoirement des facteurs liés. Dans ce cas, les conséquences sur les flux d'échanges entre des habitats séparés sont les suivantes :

1. Par exemple, dans la relation source-puits, l'abondance dans un habitat puits reflète le plus souvent la productivité des habitats sources. En effet, les habitats à productivité élevée sont susceptibles d'exporter des aliments, des matériaux et des organisations vers des habitats moins productifs. Comparées aux espèces spécialistes, les espèces généralistes peuvent persister avec une abondance supérieure dans chaque type d'habitat qu'elles utilisent, en étant favorisées par la variabilité temporelle locale de la ressource ou de l'abondance des prédateurs. Au cours de leur dispersion à travers des habitats défavorables, les espèces généralistes perdent généralement moins d'individus. En règle générale, les généralistes sont moins sensibles à la fragmentation que les spécialistes. Par ailleurs, la structure du paysage influence le flux de dispersion entre les éléments d'habitats (Debinski et al. 2002). Ce dernier effet a notamment été documenté d'une façon convaincante pour une grande variété de taxa dans la dynamique biologique de fragmentation de forêt en Amazonie centrale (Gascon et al. 1999).

2. Après fragmentation des habitats, on observe toujours une invasion d'espèces « exotiques ». Par exemple, Harrison et Bruna (1999) ont prouvé que les ensembles naturels de petites surfaces d'habitats sont enrichis par le « débordement » de la communauté environnante, tout en perdant quelques espèces spécialistes présentes dans les grandes étendues d'habitats primaires. Ainsi, les espèces aviennes forestières sont plus menacées sur de petits fragments en raison d'un afflux d'espèces généralistes prédatrices provenant de la matrice environnante (Fahrig & Merriam 1994).

### **Effets de secteur**

1. L'effet fondamental de la fragmentation est de réduire en plusieurs secteurs (ou fragments paysagers) une entité spatiale intacte d'un habitat particulier, entraînant inévitablement une diminution de sa diversité biologique.

2. En considérant que chaque portion de paysage est formée d'un ensemble d'habitats, la réduction de surface du secteur conduit presque toujours à abaisser la diversité d'habitats présents dans le paysage initial. En effet, dans les plus petits fragments, quelques habitats peuvent se raréfier ou même disparaître. Cette transformation affecte non seulement les espèces spécialistes (souvent rares), mais également certaines espèces généralistes, dont les quelques habitats prioritaires ont disparu. C'est notamment le cas des batraciens dont les mares superficielles ont disparu du secteur originel. Pour les espèces ayant une densité fixée par la taille du territoire, la réduction de la taille du secteur implique une diminution de la population. Une population réduite accroît son risque d'extinction, même dans un environnement favorable dans lequel l'espèce devrait normalement persister.

### **Effets d'interactions spécifiques et de chaînes alimentaires**

Le dernier domaine des théories écologiques sur la fragmentation concerne les analyses de la dynamique des chaînes alimentaires et des interactions multi-spécifiques. C'est une observation banale de constater que des interactions existent entre toutes les espèces incorporées dans un réseau et que, de plus, ces interactions peuvent avoir un important effet de cascade sur l'ensemble de la dynamique d'une communauté ou d'une chaîne alimentaire.

### **Espace naturel**

Espace à dominante naturelle par opposition aux espaces agricoles et urbanisés.

## Espace ouvert

Espace autorisant l'expérience paysagère. Tel est l'espace public ; telles sont les continuités agricoles ouvertes indispensables à la visibilité, la cohérence et l'harmonie des paysages.

## Espace public

Espace " incarné morphologiquement par la rue ou, plus spécifiquement encore, par la place publique " (Berque). La notion s'étend aux routes et chemins ; l'espace public est par essence un espace ouvert à tous publics, autorisant leur droit de regard et d'expérience sur leur patrimoine paysager commun.

## Expérience paysagère

Expérience sensible mettant en jeu toute la complexité d'un sujet, et allant de la plus physiologique à la plus intellectuelle des motivations esthétiques qui assurent son insertion dans sa société (Berque). L'expérience paysagère est une expérience sensible qui, à ce titre, met en jeu les cinq sens, les sens symboliques des paysages, et les sens nouveaux qui peuvent éventuellement leur être donnés.

## Fragmentation

La fragmentation est le processus dynamique de réduction de la superficie d'un habitat et sa séparation en plusieurs fragments.

## Guilde

Désigne un groupe d'espèces animales écologiquement voisines qui occupent un même habitat dont elles exploitent en commun les ressources disponibles. Dans le REN (Réseau Ecologique National Suisse), la notion de guilde-clé se rapporte à un groupe d'espèces choisies pour leur valeur bio-indicatrice ou pour leur valeur emblématique permettant d'illustrer les notions de réseaux écologiques. Ainsi, de nombreux insectes servent de bio-indicateurs pour la qualité des habitats, alors que les ongulés et les oiseaux servent d'indicateurs pour caractériser les fonctions des réseaux.

## Habitat

L'habitat correspond au lieu où vit une espèce donnée. Au sens strict il contient l'ensemble des éléments du paysage, fussent-ils de nature différente, utilisés par l'espèce. Par extension on appelle souvent habitat un des types d'éléments utilisés par une espèce (Burel & Baudry ed.2003). *C'est ce second aspect qui a été retenu dans la définition des effets secteurs.*

## Habitat-refuge

Espace naturel ou artificiel offrant une structure d'accueil temporaire pour la faune en déplacement. Il s'agit souvent de micro-habitats résiduels situés dans un corridor biologique.

*Exemples :* bosquets, étangs, talus herbeux dans une zone d'agriculture intensive.

## Matrice

Elément dominant du paysage, dans les paysages agraires on parle de matrice agricole pour l'ensemble des parcelles dont l'usage est voué à l'usage agricole. (Burel & Baudry ed.2003)

## Méta-population

Une méta-population est un assemblage de plusieurs populations locales. On définit une méta-population comme un ensemble de sous-populations pouvant se connecter de façon transitoire entre elles pour permettre des événements de migration et se caractérisant également par des phénomènes d'extinctions et de (re)colonisations (Levin 1969).

## Mitage

Dégradation, désintégration des motifs d'un paysage par les effets des dynamiques non maîtrisées, principalement de la végétation, de l'urbanisation ou de l'équipement.

## Modes de déplacement

Plusieurs types sont connus et doivent être pris en compte dans un réseau écologique :

a) Des **déplacements terrestres**, passifs pour la flore (dissémination zoochore), actifs et passifs pour la faune, parmi lesquels on distingue généralement trois modes de déplacement fonctionnant à différentes échelles :

- Un mode propre à la faune ayant une mobilité limitée et strictement restreinte à des habitats continus le long des lisières forestières, haies, talus ou berges de cours d'eau (cas des micromammifères et de nombreux insectes).

- Un mode propre à la faune ayant des déplacements lents et utilisant des substrats et des structures favorables pour de courts cheminements lui permettant de rejoindre ses divers milieux vitaux (cas des batraciens, des reptiles, de certains mammifères et de nombreux insectes).

- Un mode propre à la faune ayant des déplacements rapides souvent à découvert et sur de longues distances mais utilisant toujours de manière optimale les structures refuges existantes.

b) Des **déplacements aquatiques** pour de nombreuses espèces aquatiques ou espèces d'amphibiens, mais également du transport involontaire d'espèces de la flore et de la faune terrestres, lors de chutes dans les cours d'eau ou par le ruissellement de surface en cas de pluies. Ainsi, le réseau hydrographique régional est prédéterminé pour jouer le rôle d'infrastructure naturelle de dispersion des espèces, donc de corridor biologique. Ce rôle essentiel des cours d'eau dans le fonctionnement des réseaux écologiques, dans tout paysage transformé par les activités humaines, justifie à lui seul le maintien d'espaces de liberté suffisants pour le développement de cours naturels bordés de leur végétation naturelle.

c) Des **déplacements aériens** propres aux oiseaux, aux chauves-souris et à de nombreux arthropodes nécessitant des éléments de guidage visuel ou des gîtes d'étapes permettant le repos et l'alimentation. Ces espèces utilisent donc largement les structures de réseaux définies *a priori* pour la faune terrestre. Elles peuvent toutefois atteindre plus facilement des sites isolés sans connexion autre que par voie aérienne. Le réseau aérien, bien qu'apparemment différent des réseaux terrestres et aquatiques, présente de nombreuses similitudes en termes d'obstacles ou de fils conducteurs présents dans les paysages. Ainsi, pour les espèces à déplacement actif, la plus courte distance entre les habitats définit souvent la meilleure voie de déplacement, car de nombreuses zones terrestres ou aquatiques isolées restent généralement accessibles aux espèces se déplaçant par voie aérienne. Ces zones isolées (dortoirs, gîtes d'étapes, sites de reproduction ou de gagnage) occupent une place particulière dans les réseaux écologiques dans la mesure où elles ont une fonction parfois importante même en étant souvent déconnectées (hors continuum du point de vue cartographique) des autres habitats complémentaires. Il ne faut non plus oublier le transport passif par le vent (anémochorie) qui joue un rôle très important pour de nombreux insectes et les graines de certaines plantes. Ce mode de dispersion est régi par d'autres règles (courants aériens, vents dominants) aux climats locaux et régionaux, mais forme également des systèmes en réseaux modélisables et prévisibles. Ainsi, la création d'une tranchée forestière ou d'une surface bitumée modifie fortement les dispersions aériennes locales de nombreux arthropodes.

## Mosaïque

Assemblage d'éléments de nature différente. La taille moyenne de ces éléments définit le grain de la mosaïque. (Burel & Baudry ed.2003)

## Motif de naturalité

Motif appartenant au milieu naturel. Il fait partie de l'un des trois registres du relief, de l'eau et de la végétation spontanée. Il peut rester intouché ou être transformé par l'intervention humaine et perdre sa nature première pour une nature seconde, comme dans le cas des forêts, du lit mineur d'une rivière endiguée, d'un marais aménagé, etc.

## Motif de spatialité

Motif dû à l'invention humaine. Il relève d'un des trois registres du bâti, de l'occupation du sol et des réseaux. Ces motifs sont parfois comparés à des greffes plus ou moins réussies sur le milieu naturel, ainsi transformé en une nature seconde, caractéristique de toute culture.

## Motif structurel

Motif appartenant à la charpente paysagère et dont l'effacement peut conduire à la disparition de ce paysage ; tel a fréquemment été le cas du bocage lorsque la disparition des haies, des chemins, parfois des pâtures a conduit à des paysages de grandes cultures quasi interdits de parcours.

## Paysage

Le paysage est le "mode sensible de la relation d'un sujet individuel ou collectif à l'espace et à la nature ; implique particulièrement la vue et les échelles moyennes" (Berque). Il est défini par son hétérogénéité spatiale et temporelle, les activités humaines qui s'y déroulent et son environnement. (Burel & Baudry ed.2003)

### **Propagules**

Éléments de la biocénose (faune et flore) soumis à des mécanismes de dispersion.

### **Réseau de connexion**

Qualité des liens entre les éléments cartographiables de la structure spatiale d'un paysage.

### **Tache**

Élément du paysage défini par sa taille, sa forme et sa nature (Burel & Baudry ed.2003).

### **Unités de paysage**

" Ce sont là des zones présentant une homogénéité suffisante pour s'apparenter en tout point à une ambiance identique et dont l'ambiance est définie par des critères suffisamment affinés pour lui conférer une certaine spécificité ". (CTEGREF)

### **Unités fonctionnelles**

Ce sont " des unités d'espace pour lesquelles s'ajustent de façon homogène les données relatives à : l'écologie, la pédologie, la géomorphologie, l'agriculture et la socio-économie ". (CTEGREF)

### **Zone nodale**

Secteur dans lequel les espèces ou les écosystèmes principaux sont présents et où leurs conditions vitales sont réunies.

**Synonymes** : zone réservoir, zone-source, secteur-noyau, bio-centre (Bucek et al. 1996 ; IUCN 1996), zone à haute biodiversité, « hot spot ».

### **Zone-tampon**

Espace situé autour des zones nodales ou des corridors pour les préserver des influences négatives des environs. Une certaine activité humaine est implicitement autorisée dans les zones-tampon, voire souhaitable lorsqu'il s'agit de maintenir une exploitation traditionnelle des milieux.