



POLYTECH[®]
TOURS

Département Aménagement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

La prise en compte du réseau écologique forestier dans les projets d'infrastructures autoroutières



PAPET Guillaume

2010-2011

Directeur de recherche

PHILIPPE Marc-André

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier M. PHILIPPE Marc-André, maître de conférence en aménagement de l'espace et urbanisme au Département Aménagement de l'école Polytech'Tours, pour ses conseils et le suivi de la réalisation ce projet de fin d'études.

Merci à Pascale Le Halper, responsable du centre de documentation du Département Aménagement de l'Ecole Polytechnique de Tours, pour son aide dans ma recherche bibliographique et pour son accueil à la bibliothèque.

SOMMAIRE

Avertissement.....	1
Formation par la recherche et projet de fin d'études	2
Remerciements.....	3
Sommaire4	
Introduction	6
Partie 1 Le réseau écologique : naissance du concept et principe.....	7
1. Historique de l'écologie du paysage et naissance du concept.....	8
2. Définition du concept de réseau écologique	8
21. Définition	8
22. Ses composantes	9
a) Les taches (ou réservoirs de biodiversité).....	9
b) Corridors/Zones de connexion biologique	10
c) La matrice paysagère.....	11
Partie 2 L'autoroute face aux réseaux écologiques : des conflits d'usage	12
1. Le réseau autoroutier.....	13
12. Evolution et structure du réseau autoroutier	13
13. L'autoroute, une barrière au déplacement.....	14
14. L'autoroute, consommatrice de biomasse.....	14
2. Appropriation du concept par les politiques françaises	14
3. La fragmentation de l'espace	16
31. Définition	16
32. Problèmes posés par la fragmentation :	16
33. Effets positifs indirects (dans une certaine mesure) : l'effet lisière.....	17
4. Objet de la recherche	18
Partie 3 Présentation de la méthode	20
1. Méthode générale.....	21
11. Justification des choix d'objet d'étude.....	21
a) Choix de la fragmentation	21
b) Le sous-réseau forestier	21
12. Une méthode voulant mettre en évidence l'évolution.....	21
a) Des analyses spatiales et comparatives	21

b) Mise en évidence de l'effet fragmentant.....	22
c) Mise en évidence de l'évolution de la prise en compte.....	22
d) Schéma récapitulatif.....	23
2. Outils de mise en œuvre de la méthode	23
21. L'indice de la fragmentation utilisé	23
a) Choix de d'approche théorique.....	23
b) Les différents indices spatiaux	24
22. Choix des bases de données.....	25
23. Choix du logiciel de traitement des données	27
a) Zone prise en compte dans les calculs.	27
3. Choix des zones d'études	27
31. Critères de sélection.....	27
a) Des situations biogéographiques proches	27
b) Le nombre de zones étudiées	28
c) Choix des classes temporelles.....	28
32. Exemple de zones d'études envisageables	29
4. Limites de la méthode	30
41. Limites liées à l'indice.....	30
42. Limite liée aux données.....	30
43. Limite d'échelle	31
Conclusion.....	32
Bibliographie.....	33
Table des schémas	35
Table des cartes	36
Table des tableaux.....	37

INTRODUCTION

A l'échelle des temps géologiques, la vie sur terre a connu cinq crises d'extinction majeures. La sixième, actuellement en cours, est indiscutablement la conséquence des actions de l'Homme. Le rythme d'extinction des espèces atteint des niveaux sans précédent et vont de 100 à 1000 fois plus vite que lors des extinctions naturelles précédentes (Ramade, 1999 cité par Mougenot et Melin, 2000). Ces modifications du monde du vivant ne sont pas sans effets sur les sociétés humaines qui petit à petit prennent conscience des enjeux de la préservation de la biodiversité, qu'ils soient économiques, politiques, sociaux ou éthiques. En effet, on assiste ces dernières années à une appropriation de ces enjeux par les gouvernements et par l'opinion publique qui se traduit par des engagements pris lors de conférences internationales telles que celles de Rio (1992), de Johannesburg (2002) ou de Copenhague (2010). Les causes d'origines anthropiques qui affectent les populations animales et végétales sont à la fois d'ordre global (composition de l'atmosphère et changements climatiques) et d'ordre local (actions locales répétée sur de grandes échelles spatiales). Dans cette deuxième catégorie, la première cause d'érosion du vivant vient du changement d'utilisation du sol, qui se traduit le plus souvent par la perte et la fragmentation de l'habitat des espèces (Burel et Baudry, 1999). La fragmentation de l'habitat dans les pays industrialisés est principalement due au développement de l'urbanisation et des grands réseaux d'infrastructures linéaires (autoroutes, voies ferrées à grande vitesse, lignes haute tension, etc.).

L'écologie du paysage nous apprend que pour qu'une population soit pérenne elle doit pouvoir répondre à ses besoins de mobilité. Ainsi les populations se déplacent au sein d'un réseau écologique qui leur permet de subvenir aux besoins de l'ensemble de leur cycle de vie. Toutefois, lors du dernier siècle, ce réseau de déplacement du vivant est entré en conflit avec ceux de transport humains. La conciliation des deux types de réseaux constitue désormais un enjeu majeur pour les aménageurs dans la lutte pour la préservation de la biodiversité, qu'elle soit ordinaire ou remarquable.

Les politiques françaises incitent donc progressivement à prendre en compte les réseaux écologiques dans les projets d'infrastructures linéaires afin de diminuer les points de conflits. Ce rapport cherche à déterminer si les actions engagées sont efficaces et s'il y a bien une diminution de l'impact des projets sur l'environnement.

Ce rapport se présente en 3 parties. La première met en lumière l'apparition de la discipline de l'écologie du paysage et explique l'un des concepts fondamentaux, celui de réseau écologique. Quant à elle, la seconde partie s'intéresse plus aux conflits qui existent entre le réseau écologique et le réseau autoroutier. Enfin, une troisième partie vient exposer la méthode proposée pour répondre à la problématique de la recherche.

PARTIE 1
LE RESEAU ECOLOGIQUE :
NAISSANCE DU CONCEPT ET
PRINCIPE

1. Historique de l'écologie du paysage et naissance du concept

A l'origine, les concepts de continuité ou de réseau écologique proviennent d'une branche de l'écologie bien spécifique que l'on appelle l'écologie du paysage. Pour une meilleure compréhension il est préférable de s'attarder un peu sur les spécificités de cette discipline.

L'écologie du paysage est une discipline récente au regard de l'histoire des sciences du vivant puisqu'elle s'est développée au début des années 1980 (Debray, 2011). Elle fait son apparition dans les années 70 suite à la prise de conscience collective de l'impact néfaste de certaines activités humaines sur l'environnement telles que l'agriculture intensive ou la création de grandes infrastructures de transport. Elle étudie alors les effets des modifications paysagères sur les écosystèmes et la biodiversité. Cela implique donc d'intégrer les activités humaines dans le système, et donc l'Homme. En ce sens, la discipline marque une rupture dans l'histoire de l'écologie (Forman, 1999) en ne s'intéressant plus uniquement aux écosystèmes peu anthropisés. L'écologie du paysage privilégie alors une approche pluridisciplinaire intégrant des notions de sciences humaines, de géographie et de mathématiques pour créer des concepts dynamiques tenant compte des actions de l'Homme. Ainsi, elle démontre que le maintien de la biodiversité dépend non seulement de la préservation des habitats mais aussi des espaces interstitiels qui permettent les échanges biologiques entre ces habitats (Burel et Baudry, 1999). Ces bases ont permis d'arriver aujourd'hui au concept de réseau écologique.

2. Définition du concept de réseau écologique

2.1. Définition

L'écologie du paysage part du principe que le paysage est hétérogène et dynamique. Il est donc constitué d'une mosaïque d'habitats qu'empruntent de nombreuses espèces au cours de leur cycle de vie. La complexité des systèmes, plus que souvent reconnue, a amené les théoriciens et les écologues à concevoir des modèles simplifiés. C'est ainsi que le réseau écologique est devenu un concept théorique de l'Écologie du paysage. Il décrit le complexe constitué par la somme des infrastructures naturelles nécessaires au cycle de vie et aux déplacements d'une espèce (zones d'alimentation, de repos, de reproduction, etc, ...). Chaque espèce a des capacités de dispersion et des exigences écologiques différentes donc on peut théoriquement identifier autant de réseaux écologiques que d'espèces. Il est tout de même possible de regrouper au sein d'un même réseau écologique, par souci de simplification, des espèces ayant des comportements et modes de vie similaires. Il est également fréquent d'associer à certains types de milieux un cortège d'espèces qui y sont plus ou moins inféodées et qui revient, en pratique, à considérer ces derniers comme des réseaux écologiques. Par exemple, l'ensemble des milieux forestiers et les corridors associés (le réseau de haies

entre autre) peuvent être définis comme formant le réseau écologique forestier. Celui-ci regroupe les sous-réseaux de toutes les espèces exclusivement forestières.

Cependant, victime de sa rapide popularité, ce concept s'est vu modifié dans des sens divers par les différents secteurs qui se l'ont approprié. Ainsi, on l'a qualifié comme un modèle supplémentaire pour la biologie de la conservation, comme un concept de gestion et d'aménagement du territoire, mais aussi comme un thème de mobilisation du grand public. (Mougenot, Melin, 2000). Nous nous intéresserons dans le cas présent plus à la deuxième thématique concernant la gestion et l'aménagement, avec notamment ses nuances sur ses composantes.

22.Ses composantes

Forman et Godron (Forman et Godron, 1981) définissent les éléments de base du paysage, et par conséquent ceux constitutifs des réseaux écologiques, avec leur modèle matrice/taches/corridors. Ainsi, les réseaux écologiques sont composés de taches (également appelées cœurs de biodiversité, réservoirs de biodiversité ou zones nodales dans la nomenclature française) et d'éléments linéaires et ponctuels : les corridors. L'ensemble de ces deux éléments, eux-mêmes subdivisables, est compris dans une matrice paysagère.

a) Les taches (ou réservoirs de biodiversité)

Selon les écologues paysagistes, les taches d'habitat sont des structures paysagères qui apparaissent ponctuellement et isolément dans un espace dominant caractérisé par une certaine uniformité d'occupation du sol et qualifié de « matrice » (Forman et Godron, 1986). Ses espaces sont généralement non linéaires et différents de leur environnement comme par exemple un bosquet au sein d'un espace agricole ou bien une clairière au milieu d'un massif forestier. Cette définition est quelque peu modifiée dans l'application en Aménagement du territoire puisqu'elle associe aux taches, ou réservoirs de biodiversité, des qualités et fonctions supplémentaires. Ces réservoirs, du fait de l'échelle de planification retenue, sont généralement de grande superficie et de bonne qualité écologique tout en ayant le rôle de supporter l'ensemble du cycle de vie des espèces considérées. Ce sont des réservoirs à partir desquels des individus présents se dispersent. Les autres éléments similaires mais ne remplissant pas tous les critères (exemple de taille trop restreinte ou trop dégradé) sont assimilés à d'autres catégories comme aux corridors, aux zones tampon ou d'extension.

La science distingue plusieurs catégories à l'intérieur même des taches. Les zones dites intérieures ont peu d'interaction avec la matrice. Autour de celles-ci se trouve la lisière qui elle est un milieu de transition et d'échange avec la matrice et les autres taches. Cette différenciation de zones a elle aussi été reprise par les aménageurs qui les ont cependant fait correspondre à des objectifs :

- Les zones noyaux : Equivalentes aux zones intérieures, elles contiennent des habitats naturels ou semi-naturels de populations viables d'espèces et sont d'importance écologique. L'ensemble des outils juridiques internationaux de protection des milieux naturels ainsi que les espaces protégés par des politiques et programmes des pouvoirs publics nationaux et régionaux sont considérées comme zones nodales.
- Les zones tampons : Equivalentes aux lisières, elles protègent les zones noyaux et les corridors contre les influences extérieures potentiellement dommageables.
- Les zones de restauration : Le réseau a aussi pour objectif la reconquête de ces qualités perdues quand cela est techniquement réalisable et à un coût raisonnable. Ces zones possèdent des qualités écologiques inférieures aux zones noyaux mais sont susceptibles d'être améliorées pour pouvoir à terme devenir zones noyaux.

b) Corridors/Zones de connexion biologique

Aux taches d'habitats sont associés des corridors. Ce sont des éléments paysagers linéaires qui permettent la dispersion d'espèces animales ou végétales entre deux habitats, au sein d'un environnement plus ou moins hostile, la matrice (Clergeau et Désiré, 1999). Il peut s'agir par exemple d'une haie entre deux bosquets, d'un ruisseau entre deux lacs ou bien même d'un col entre deux vallées. Toutefois, les corridors sont également spécifiques à chaque espèce et ce qui joue le rôle de corridor pour l'une peut être un obstacle pour une autre.

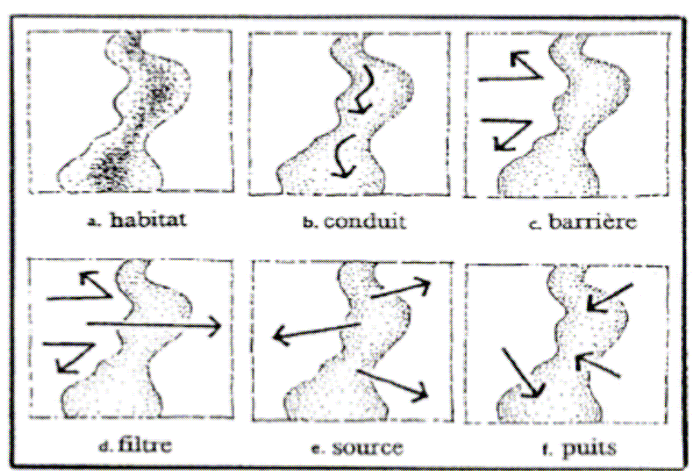


Schéma 1 : Les six fonctions d'un corridor
Source : Burel et Baudry, 1999

Son application en aménagement du territoire est plus proche de ce que Clergeau et Désiré (1999) définissent comme une zone de connexion biologique. Dans cette approche, la connectivité entre deux taches ne doit pas être assurée par un unique type de corridor paysager mais par un ensemble comprenant une variété de milieux. Ainsi une zone de connexion biologique reliant deux massifs forestiers comprendrait non seulement un linéaire de haies mais également des chemins, des bords de

ruisseaux, des bosquets et des éléments ouverts du paysage. L'ensemble permet alors à une multitude d'animaux de se déplacer.

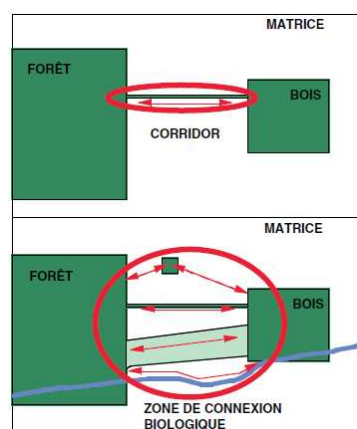


Schéma 2 : différence entre corridor et zone de connexion biologique
Source : Clergeau et Désiré, 1999

c) La matrice paysagère

La matrice paysagère est l'élément dominant du paysage dans lequel viennent s'insérer les taches et les corridors. Elle est plus ou moins perméable aux déplacements des espèces et peut être de nature très variée. Ainsi selon le milieu ou l'espèce considérée la matrice peut tout aussi bien être constituée de l'ensemble milieux ouverts, des zones agricoles intensives, des zones artificialisées ou de la forêt elle-même. Sur le schéma 3 elle est l'ensemble des zones blanches.

Dans son application en Aménagement du territoire elle est souvent associée aux milieux agricoles intensifs et aux zones urbanisées.

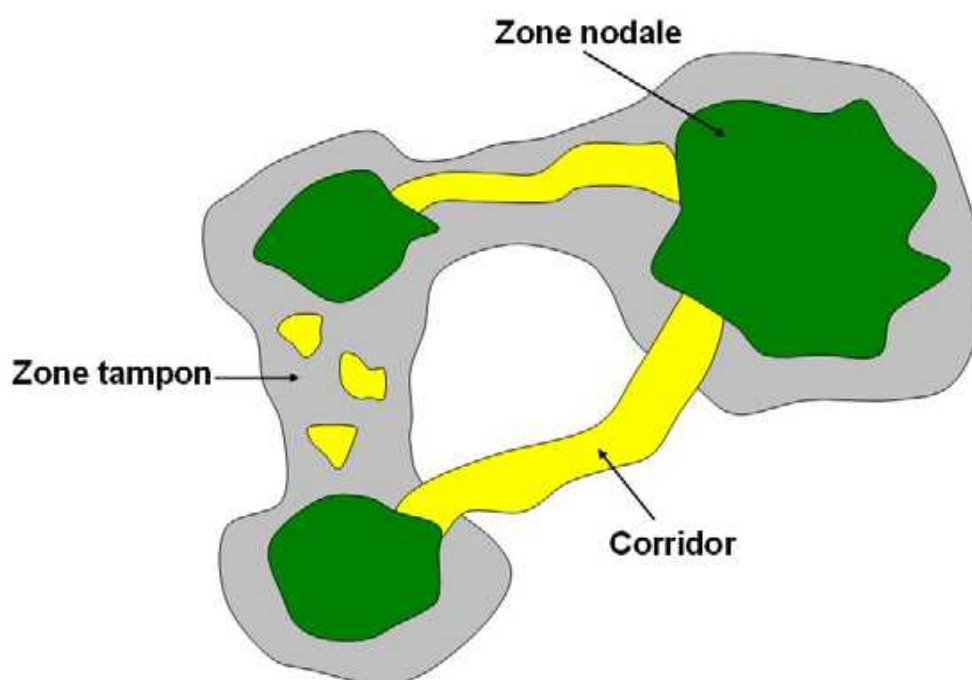


Schéma 3 : schéma d'un réseau écologique
Source : DIREN PACA

PARTIE 2

L'AUTOROUTE FACE AUX

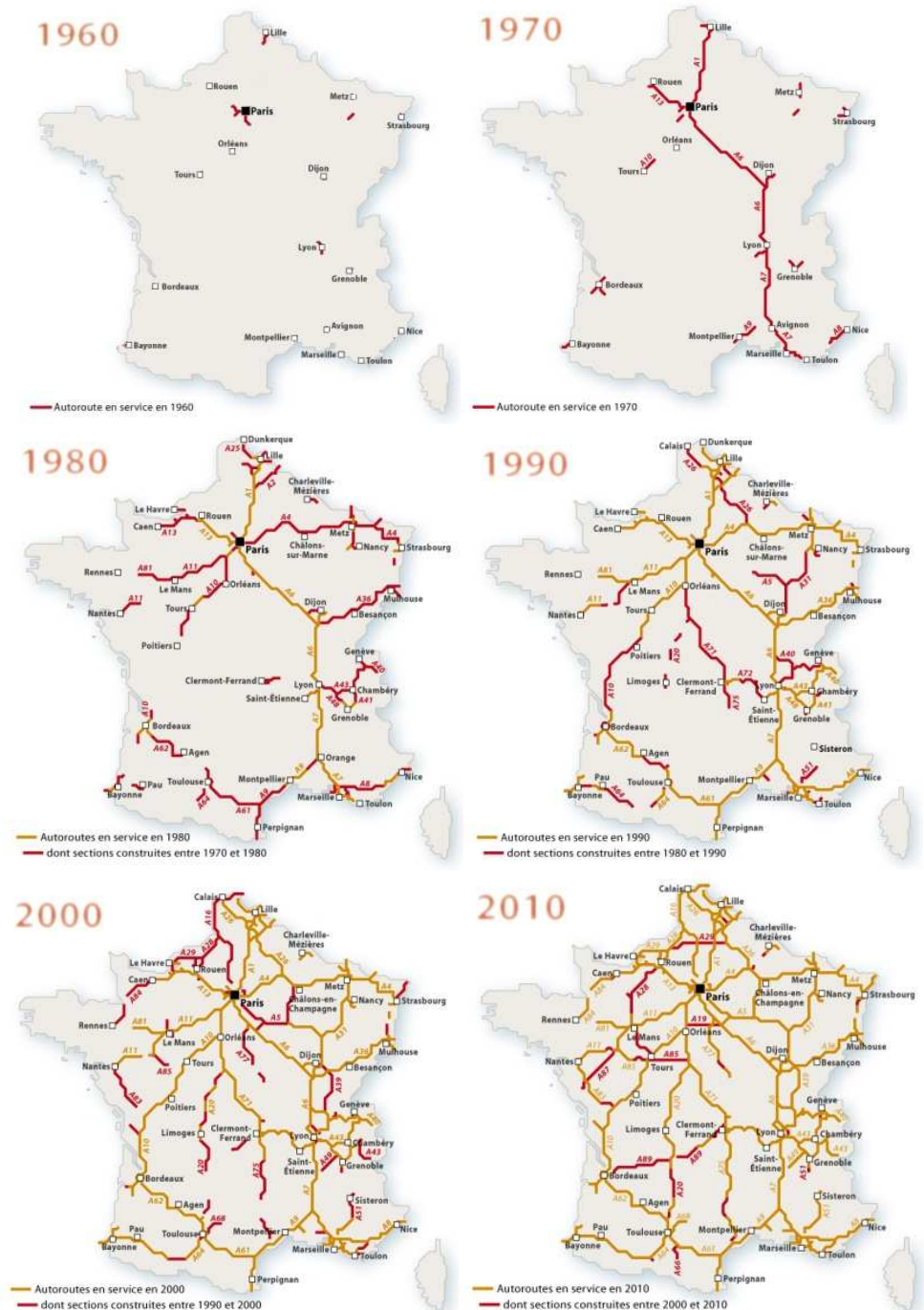
RESEAUX ECOLOGIQUES : DES

CONFLITS D'USAGE

1. Le réseau autoroutier

12. Evolution et structure du réseau autoroutier

Les autoroutes en France sont apparues dans les années 1960 et n'ont cessé de se développer depuis. Le réseau a atteint, en une cinquantaine d'années, plus de 11 000 Km de long ce qui le place au quatrième rang mondial derrière les Etats-Unis, le Canada et l'Allemagne.



Carte 1 : Evolution du réseau autoroutier français de 1960 à 2010

Source : SETRA

La carte montre clairement la rapidité du développement du réseau autoroutier en France. Celui-ci, en forme d'étoile, relie actuellement la quasi-totalité du territoire à la capitale. Constituant ainsi un maillage presque homogène, le réseau interagit donc avec l'ensemble des grandes zones biogéographiques du territoire. L'adoption récente de la loi Grenelle 2 risque de freiner fortement le rythme de développement du réseau autoroutier puisque elle prévoit l'élaboration d'un schéma définitif du réseau.

13.L'autoroute, une barrière au déplacement

Outre sa fonction première qui est de favoriser au maximum les déplacements humains, l'autoroute est une barrière pour le vivant.

Les sciences écologiques montrent que ces infrastructures linéaires inhibent les échanges faunistiques en raison de leur caractère inhospitalier et de l'obstacle physique qu'elles constituent (Ménard et Clergeau, 2001). Ces infrastructures sont, selon l'espèce considérée, plus ou moins perméables au franchissement par la faune et se révèlent très souvent infranchissables. Les raisons en sont variées, allant de la difficulté de franchissement des grillages de protection et des terre-pleins centraux aux perturbations sonores, olfactives ou hygrométriques qu'engendre l'infrastructure en passant par les collisions elles mêmes.

14.L'autoroute, consommatrice de biomasse

Avec une emprise allant de 60 à 80 m de large une autoroute consomme intrinsèquement 7 hectares de terres en moyenne par kilomètre de voie (Couderc, 1980). D'autres facteurs, plus indirects, sont également consommateurs d'espace et peuvent faire augmenter la moyenne. Parmi eux trouve les voies d'accès, les aires de repos, les échangeurs, les pertes temporaires dues aux travaux et les urbanisations induites.

2. Appropriation du concept par les politiques françaises

Le concept de réseau écologique est né de l'écologie du paysage, une discipline récente qui est apparue dans le début des années 1980. Il aura fallu attendre une dizaine d'années pour qu'il soit intégré dans des politiques européennes. En 1991, le ministère de l'agriculture des Pays-Bas a créé le premier réseau écologique européen appelé EECNET (European Ecological Network) qui a grandement inspiré l'Union Européenne. En effet, 4 ans plus tard, en **1995, la Stratégie Paneuropéenne pour la protection de la diversité biologique et paysagère** est adoptée.

En 1995, une circulaire introduit une nouvelle contrainte pour les nouveaux projets autoroutiers: le 1% paysage et développement. Celle-ci impose que 1% des

investissements soit dédié à des actions pour le paysage et/ou le développement autour des nouvelles infrastructures. Bien qu'elle ne cite pas explicitement les réseaux écologiques, cette loi permet tout de même de financer des actions en leur faveur.

Le concept de réseau écologique apparaît pour la première fois dans le droit français en **1999** avec la **loi Voynet d'orientation pour l'aménagement et le développement durable des territoires** qui introduit le schéma de services collectifs des espaces naturels et ruraux. Concrètement, cette loi traduit la Stratégie Paneuropéenne dans le droit français sans réellement apporter de solutions et d'outils opérationnels. Toutefois, la reconnaissance du principe de réseau écologique a tout de même eu un effet multiplicateur sur les initiatives locales (Bonnin, 2006). Il faut tout de même souligner que l'absence de cadre institutionnel avant 1999 n'a pas empêché les initiatives locales sur le territoire français (Debray, 2011).

En 2004, la France adopte sa Stratégie **nationale pour la biodiversité** avec un plan d'actions infrastructures de transports terrestres (actualisé en 2009 pour tenir compte des objectifs du Grenelle). Ce plan d'actions intègre notamment la problématique des conflits entre le réseau écologique et les infrastructures linéaires.

La dernière et certainement la plus significative des intégrations législative du concept de réseau écologique est l'apparition de ce dernier dans **le processus Grenelle**. Initié en 2007 autour de tables rondes, il a débouché sur la création de deux lois. Dans un premier temps, la loi Grenelle 1 du 5 août 2009 définit et inscrit la Trame verte et bleue (terme français pour désigner le réseau écologique) comme l'objectif majeur de la politique environnementale. Elle est définie comme un outil d'aménagement visant le maintien de la biodiversité qui se décline sur trois niveaux d'échelles emboîtés :

- Le niveau national définit les orientations nationales, donne un cadre méthodologique ainsi que les modalités d'application.
- Le niveau régional est lui chargé de décliner la Trame verte et bleue à son échelle par l'intermédiaire d'une représentation cartographique : le SRCE (Schéma Régional de Cohérence Ecologique).
- le niveau local est l'échelon opérationnel qui doit prendre en compte les schémas régionaux dans ses différents documents et projets d'aménagement.

Dans un deuxième temps, la **loi Grenelle 2 de juillet 2010** définit le cadre réglementaire en rendant opposable la Trame verte et bleue. Ainsi, depuis cette loi l'Etat, et les collectivités doivent prendre en compte la Trame verte et bleue au travers de leurs projets d'infrastructures linéaires,.

Le processus d'appropriation du concept de réseau écologique en France s'est donc fait de façon progressive avec, dans un premier temps, une mobilisation spontanée du niveau local qui a ensuite été suivi institutionnellement par plusieurs lois.

3. La fragmentation de l'espace

31. Définition

La fragmentation est avant tout un phénomène spatial à la base du développement de l'écologie du paysage. En tant que processus, la fragmentation est caractérisée par la diminution de la surface totale d'un habitat et son éclatement en fragments (Burel et Braudy, 1999). Le schéma 4 illustre ce phénomène. Elle est un indicateur primordial de la structure du paysage puisque celle-ci conditionne les modes de vie et de déplacement des populations animales.

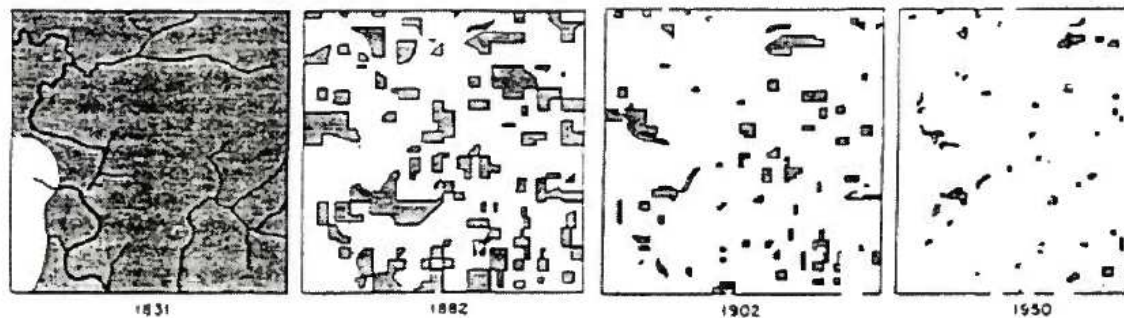


Schéma 4 : fragmentation d'un boisement du Wisconsin. Les surfaces boisées de 1831, 1882, 1902, et 1950 sont figurées en grisé

Source : repris d'après Burgess et Sharp 1981

Ce phénomène peut être perçu très différemment selon les espèces. En application aux milieux forestiers, les espèces intérieures (grands mammifères forestiers) voient leur habitat diminuer très rapidement alors que les espèces de lisière ne perçoivent les changements que beaucoup plus tardivement. Forman et al montrent en 1976 qu'il existe une relation entre la taille d'un bois et la richesse biologique tout en démontrant qu'il existe des seuils de surface permettant la présence d'espèces. Ce n'est donc pas uniquement la quantité d'habitat qui contrôle la présence d'espèces mais également la fragmentation et la distance entre les fragments. Toutefois, les espèces peuvent survivre tout de même dans un habitat fragmenté si ce dernier est connecté aux autres fragments (Levins, 1970 cité par Burel et Braudy, 1999). Ceci montre l'importance d'une deuxième notion : la connectivité. Toutefois, elle est beaucoup plus difficile à étudier puisqu'elle est spécifique à chaque espèce et donc plus complexe à mesurer.

32. Problèmes posés par la fragmentation :

La fragmentation de l'espace, outre le fait d'engendrer une perte d'habitat, est problématique au niveau de la fonctionnalité des écosystèmes. D'une part, la diminution de la surface des espaces de vie des populations peut entraîner une baisse de la capacité d'accueil du milieu entre autre due à un effet lisière croissant qui nuit aux espèces spécialisées et à celles sensibles au dérangement (Cf schéma 6). D'autre

part, l'ajout de barrières au déplacement réduit la mobilité des espèces, ce qui peut perturber, voir empêcher, leur cycle de vie. Par exemple, la construction d'une route entre la zone de vie et la zone de ponte de certains batraciens peut s'avérer fatale pour des populations entières qui sont alors incapables de se reproduire. La diminution des capacités de déplacement n'a pas uniquement des effets sur les populations mais également sur les métapopulations¹. En effets, les barrières peuvent empêcher les échanges au sein d'une même espèce et isoler des populations qui deviennent alors plus vulnérables : appauvrissement génétique, risque accru en cas d'accidents tel que les maladies, etc. La présence de barrières infranchissables pose aussi le problème de la recolonisation des milieux dépeuplés. Pour ces raisons il est indispensable de maintenir les milieux connectés.

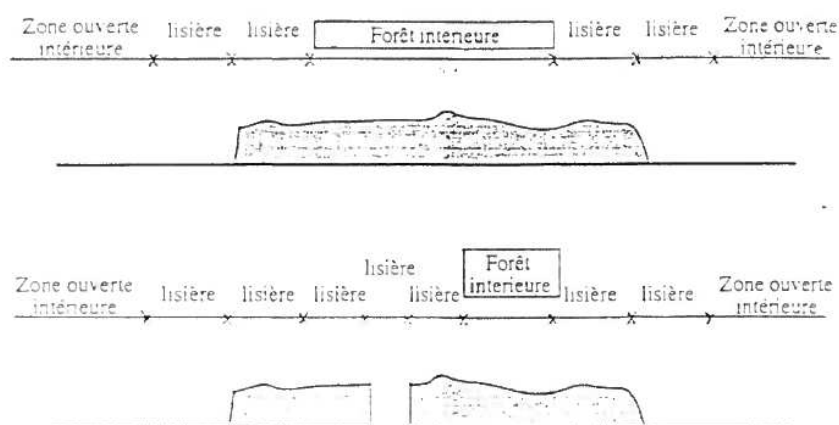


Schéma 5 : Illustration de l'effet lisière avec le cas de l'ouverture d'un couloir au sein d'une forêt
Source : Forman et Godron, 1986

33.Effets positifs indirects (dans une certaine mesure) : l'effet lisière

La fragmentation de l'espace n'a pas que des aspects négatifs. L'effet lisière peut, dans une certaine mesure, s'avérer profitable pour la biodiversité puisqu'il augmente la proportion d'écotones et diversifie le milieu.

D'un tout autre point de vue, la présence de barrières infranchissables permet également de freiner la dispersion des espèces invasives qui constituent la deuxième cause de perte de biodiversité dans les pays industrialisés (Burel et Baudry, 1999).

¹ La métapopulation est définie comme l'ensemble des populations d'une même espèce. Les subdivisions de la métapopulation sont en relation par des échanges génétiques et caractérisés par des processus d'extinction et de recolonisation locales. Le concept de métapopulation sert de base à de nombreuses recherches sur les effets de la fragmentation des habitats sur les populations. (Mougenot et Melin, 2000)

4. Objet de la recherche

Le thème général de la recherche est la prise en compte du réseau écologique dans les projets d'infrastructures linéaires type autoroutiers. Il est donc ici mis en opposition deux réseaux d'infrastructures présents sur le territoire, l'un étant d'origine naturel et l'autre d'origine anthropique. Le constat actuel est qu'il existe un certain nombre de points de conflits entre ces derniers qui viennent du fait que les infrastructures humaines représentent des barrières pour les réseaux naturels et qu'elles se sont développées sans considérations extérieures. Or, les connaissances actuelles en écologie mettent en avant la nécessité de la bonne fonctionnalité des réseaux écologiques dans le maintien de la biodiversité. Ce constat tragique a donc poussé les autorités publiques à prendre des mesures permettant la coexistence des deux réseaux ce qui a abouti à la conclusion de la nécessité de la prise en compte des trames écologiques dans la conception des infrastructures de transports.

Nous partons donc du constat que les autorités publiques françaises se sont progressivement approprié le concept de réseau écologique et les problématiques associées. Elles les ont également intégrés dans les documents d'objectifs, les schémas directeurs et même dans les lois (grenelle 2).

De là nous nous posons une question d'ordre général qui est celle de savoir si ces mesures sont réellement prises en considération et si elles sont efficaces. Cette question renvoie au problème tout aussi général de comment juger l'efficacité d'une prise en compte, sachant que celle-ci n'a que très peu de contraintes juridiques.

Une solution fréquemment utilisée pour résoudre ce type de problème est l'utilisation d'indicateurs. Ils révèlent alors pour certains points le succès, ou non, des procédures et donnent une vision partielle mais néanmoins révélatrice des effets de ces dernières. Dans la présente recherche nous faisons le choix d'étudier un indicateur qui est à la base du concept même du réseau écologique : la fragmentation des milieux. Nous l'appliquerons au milieu forestier en général pour des raisons principalement d'échelle en vue des mises en relation avec les grandes infrastructures de transport.

Nous arrivons donc au problème spécifique de la fragmentation du réseau écologique forestier engendrée par les infrastructures autoroutières.

Ce problème, mis en parallèle avec le constat de départ nous amène à nous poser la question suivante : Les nouvelles autoroutes ont-elles un effet fragmentant moindre sur le réseau écologique forestier que celles plus anciennes ?

Problématique: L'effet de fragmentation des milieux forestiers par les projets autoroutiers a-t-il réduit avec la prise en compte des problématiques de réseau écologique?

L'hypothèse de recherche est la suivante :

Les autoroutes récentes prennent plus en compte le réseau écologique et fragmentent donc moins les milieux forestiers que celles plus anciennes.

Schéma récapitulatif

Thème général	La prise en compte du réseau écologique dans les projets d'infrastructures linéaires type autoroutier.
Problème général	Comment juger l'efficacité d'une prise en compte ?
Question générale	Les mesures sont-elles réellement prises en considération et sont-elles efficaces?
Problème spécifique	La fragmentation du réseau écologique forestier engendrée par les infrastructures autoroutières.
Problématique	L'effet de fragmentation des milieux forestiers par les projets autoroutiers a-t-il réduit avec la prise en compte des problématiques de réseau écologique?
Hypothèse	Les autoroutes récentes prennent plus en compte le réseau écologique et fragmentent donc moins les milieux forestiers que celles plus anciennes.

PARTIE 3

PRESENTATION DE LA

METHODE

1. Méthode générale

11. Justification des choix d'objet d'étude

a) Choix de la fragmentation

Le principal effet d'une mauvaise prise en compte des réseaux écologiques dans les projets autoroutiers est la fragmentation des habitats naturels. Il est donc logique de l'étudier pour pouvoir qualifier la qualité de la prise en compte des réseaux écologiques. Par ailleurs, elle est un indicateur de base de l'écologie du paysage et permet de mettre en évidence les perturbations que les activités humaines causent aux milieux naturels (Burel et Baudry, 1999).

b) Le sous-réseau forestier

Comme il a été dit précédemment, il existe une multitude de réseaux écologiques différents et il s'avère très complexe d'en modéliser plusieurs en même temps en y intégrant leurs interactions. Dans le cas présent nous nous intéressons plus particulièrement au réseau écologique forestier, ou sous-trame forestière. Il est vrai que l'on peut à l'intérieur même de cette sous-trame en distinguer de nombreuses autres. Par exemple, on pourrait distinguer la sous-trame des forêts montagnardes de celle des forêts de plaines, ou bien la sous-trame à dominante feuillue de celle à dominante résineuse. Toutefois, pour simplifier le problème nous considérons comme réseau écologique forestier l'ensemble des massifs, bosquets ou linéaires sylvicoles sans distinction de peuplement ou de structures (futaie, taillis, ...). Ce choix est consolidé par le fait que dans le cas présent nous nous penchons sur les interactions avec le réseau d'infrastructures linéaires et que ce dernier traverse une grande variété de paysages.

12. Une méthode voulant mettre en évidence l'évolution

a) Des analyses spatiales et comparatives

Comme défini ci-avant, nous nous intéressons, pour mener à bien notre recherche, à deux éléments distincts que nous mettons en perspective :

- d'une part la fragmentation :
Rappelons-le, la fragmentation est avant tout un phénomène spatial. C'est pourquoi, les analyses seront-elles aussi d'ordres spatiales et calculées à l'aide d'outils de représentation spatiale et de modèles mathématiques.

- d'autre part la qualité de la prise en compte :
Dans ce cas ci il devra être fait une analyse qualitative des résultats. Or, nous étudions la fragmentation et ses données chiffrées ne peuvent à elles seules donner le résultat escompté. Il nous faudra donc pour cela comparer des données de fragmentations entre elles pour pouvoir qualifier de façon relative l'efficacité de la prise en compte.

La méthode de la recherche est donc comparative.

b) Mise en évidence de l'effet fragmentant

Nous cherchons dans la présente recherche à mettre en évidence l'évolution de la fragmentation du milieu forestier suite à la mise en place d'une infrastructure autoroutière sur un espace donné. Pour montrer l'évolution du phénomène il nous faut impérativement les valeurs de fragmentation à un état initial et à un état final (étude diachronique). Pour cela, nous calculons le degré de fragmentation du milieu forestier avant le début des travaux et après leur fin. Ainsi, en comparant les valeurs obtenues nous pouvons connaître la part de la fragmentation due à la construction de l'infrastructure.

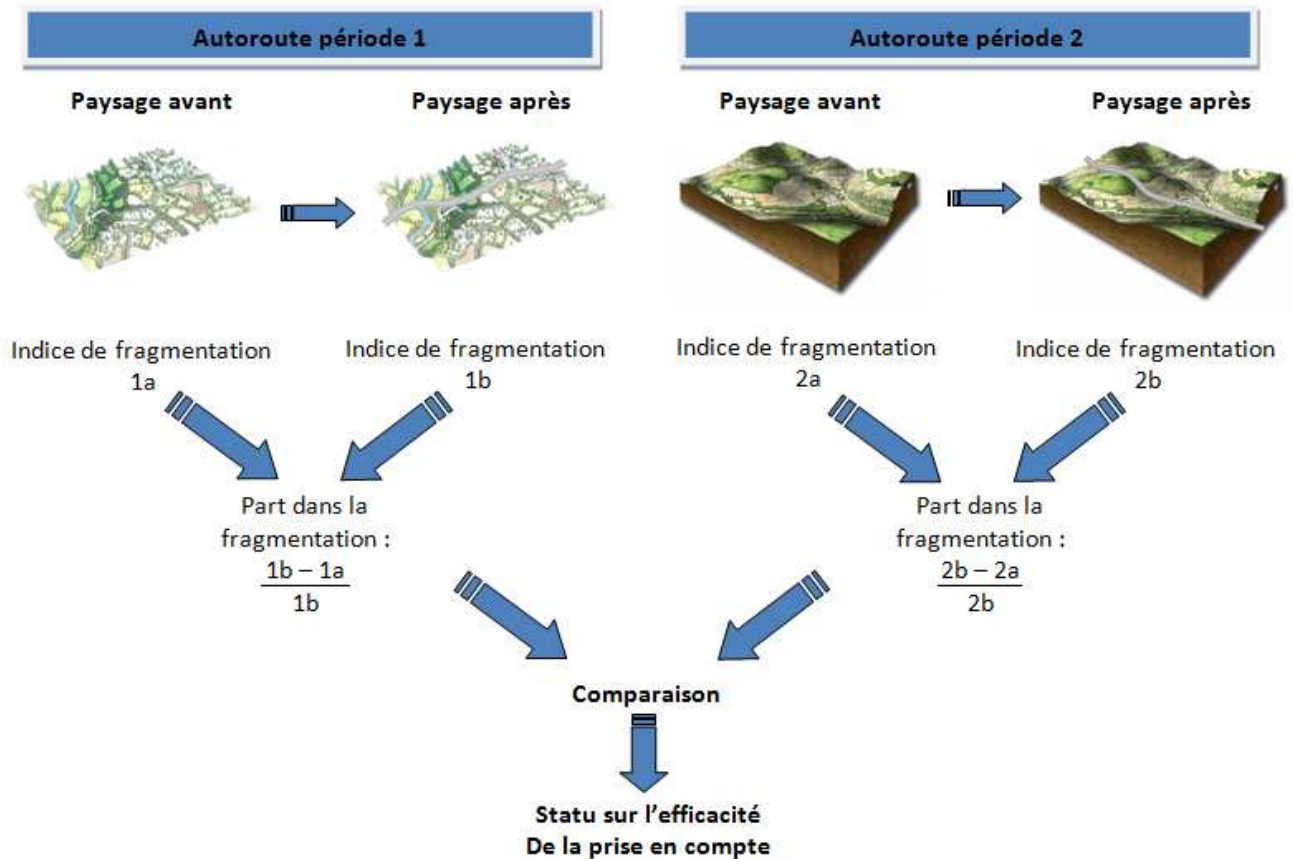
Nous pouvons rajouter que plus les données d'occupation du sol disponibles sont près des dates de début et de fin de travaux et plus les résultats obtenus seront justes. En effet, cela minimise le risque de biais des données par d'autres sources de fragmentation comme la déforestation, l'urbanisation ou la construction d'autres infrastructures.

Il pourrait être intéressant de se pencher plus longtemps sur le phénomène et de multiplier les temps d'observation pour voir si les effets indirects de l'implantation d'une autoroute (développement local notamment) n'accentuent pas d'avantage la fragmentation forestière. Mais, compte tenu des délais, nous ne nous y attarderons pas.

c) Mise en évidence de l'évolution de la prise en compte

Pour mettre en évidence l'évolution de l'efficacité de la prise en compte nous devons comparer différents projets autoroutiers s'étant déroulés dans des périodes distinctes. Ensuite, nous comparons leur part respective de fragmentation dans leur zone d'étude. Si les plus anciennes autoroutes ont un effet sur la fragmentation plus important que les autoroutes récentes c'est que l'effet de la prise en compte du réseau écologique forestier s'est amélioré.

d) Schéma récapitulatif



*Schéma 6 : schéma récapitulatif de la méthode
Réalisation personnelle*

2. Outils de mise en œuvre de la méthode

21. L'indice de la fragmentation utilisé

a) Choix de d'approche théorique

De par son importance en écologie du paysage, la fragmentation a fortement été étudiée pour la décrire, la caractériser et la mesurer. Actuellement, il existe deux grandes approches qui, même en ayant le même but, ont deux angles d'attaque différents. Pour faire simple, l'une prend le problème en considérant une espèce, ou un groupe d'espèces, qui se déplace au sein de différents habitats. L'autre, à l'inverse, considère un ensemble d'habitats au sein duquel les espèces se déplacent.

Cette différence d'angle d'approche, sans modifier la finalité, change profondément les algorithmes de calculs et les données nécessaires. La première approche (coefficient de résistance ou coût déplacement) attribue à chaque type d'habitat une valeur de rugosité. Cette méthode, bien que plus réaliste que l'autre, nécessite de connaître précisément les différentes occupations du sol et les comportements des espèces à leur égard. La deuxième approche, basée sur des modèles spatiaux, a une approche beaucoup plus structurelle et nécessite moins de données. Du fait de la difficulté de se

procurer certaines données, notamment celles des coefficients de rugosité, il est préférable d'utiliser la deuxième méthode.

b) Les différents indices spatiaux

Il existe une multitude d'indices permettant de qualifier le paysage et de décrire la fragmentation. Toutefois, ceux permettant de quantifier le degré de fragmentation d'une zone sont moins nombreux. Nous allons comparer les principaux, étudier leurs avantages et inconvénients pour finalement aboutir à celui ou ceux retenus.

- Le premier indice, le plus simple à mettre en œuvre, consiste à moyenner la surface des taches présentes sur la zone d'étude. L'application à notre cas permettrait de mettre en évidence l'augmentation de la fragmentation. Cependant, cet indice est très peu sensible aux faibles variations de la taille des taches prises en compte.
- La densité des taches peut également être utilisée pour qualifier la fragmentation. Cet indice est également facile d'utilisation et se résume en un rapport entre le nombre de taches et la surface totale qu'elles occupent dans la zone. Cette méthode n'est pas applicable à notre recherche puisque elle rend difficile les comparaisons entre différentes zones d'études.
- Le maillage effectif est un indice plus compliqué à mettre en œuvre comme le montre la formule (Jaeger, 2000) :

$$m_{eff} = \frac{1}{A_t} \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2$$

n : nombre de taches
 A_i : taille de la tache n
 A_t : la taille totale de la zone d'étude

Le maillage effectif est proportionnel à la probabilité que deux points choisis au hasard dans une zone donnée soient connectés (Jaeger, 2000). Cela signifie qu'il est proportionnel à la probabilité que deux points ne soient pas séparés par une ou plusieurs barrières. L'application à notre recherche n'est pas envisageable pour la raison qu'il mesure la fragmentation du paysage dans sa globalité et non celle des habitats. Il appréhende l'espace de façon binaire : les barrières d'une part, et le reste d'autre part. Il est plus utilisé pour identifier les zones les moins fragmentées par un réseau que pour chiffrer la fragmentation.

- Le dernier indice étudié est celui de division. Tout comme le maillage effectif, il a été développé par Jochen Jaeger, un chercheur suisse en écologie du paysage à l'Institut Fédéral de Technologie (ETH) de Zurich (Jaeger, 2000). Il est compris entre 0 pour une zone non fragmentée et 1 pour une fragmentation totale. Il exprime le degré de division du paysage et fait ressortir l'importance des éléments qui séparent les différents éléments du territoire. Son calcul est lui aussi un peu plus complexe comme le montre sa formule :

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_t} \right)^2$$

n : nombre de taches

A_i : taille de la tache n

A_t : la taille totale de la zone d'étude

Cet indice correspond aux exigences de la recherche. Il paraît le mieux adapté à répondre à la problématique.

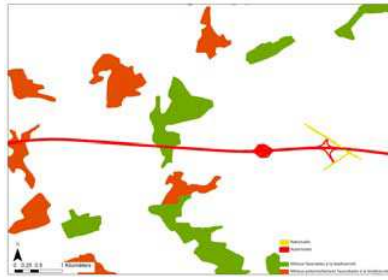
22.Choix des bases de données

Il existe plusieurs sources de bases de données d'occupation des sols couvrant le territoire métropolitain français nous permettant d'identifier les zones forestières. Le tableau XX présente les plus complètes et disponibles et couvrant l'ensemble du territoire. Elles peuvent être complétées dans certains cas par d'autres bases régionales de date, couverture géographique, échelle et exactitude variables.

	contenu	mise à jour	précision	accessibilité des données
Corine Land Cover France	occupation du sol selon de 50 catégorie comprenant les massifs forestiers	1990 2000 2006	faible	gratuit
Istitut National Géographique	de nombreuses bases de données comprenant les massifs forestiers	nombre et fréquence dépendent de la zone	suffisante	payant
Inventaire Forestier National	de nombreuses bases de données comprenant les massifs forestiers	1986 1996 2006	suffisante	payant

Tableau 1 : tableau comparatif de 3 sources de bases de données d'occupation du sol

Cependant il faut souligner que les droits d'accès à ces couches d'informations sont payantes et que l'unique en libre accès n'est pas assez détaillée pour obtenir des résultats suffisamment précis (Cf Carte 2). De plus, les dates disponibles sont plus que limitées et ne permettent que difficilement l'identification de zones d'études.



Corrine Land Cover



IGN TOP V10

Carte 2 : Représentations cartographiques des différences de précision entre les bases de données de Corine Land Cover et de l'IGN¹. Cas du nord de la commune de Namur En vert et orange des milieux forestiers.

Sources des données: <http://sd1878-2.sivit.org/> et <http://professionnels.ign.fr/>

Trois autres solutions alternatives permettant de disposer de plus de dates de référence sont tout de même envisageables :

- Adapter les choix des zones d'étude aux disponibilités des bases de données régionales. Cette option est peu satisfaisante car il faut choisir les sites étudiés parmi un panel restreint qui peut nous amener à comparer des autoroutes structurellement ou écologiquement très éloignées. Bien que la méthode le permette, cela peut entraîner certains biais d'interprétation.
- Croiser les données de plusieurs sources en acceptant l'introduction d'imprécisions dues aux légères différences entre les méthodes d'acquisition et de leur outil de représentation. Il faudra toujours s'affranchir des différents droits d'utilisation et des problèmes d'incompatibilité de formats de données peuvent survenir.
- Nous pouvons créer de nouvelles bases de données à l'aide des outils de photo-interprétation d'images satellitaires ou photos aériennes. L'avantage est une plus grande disponibilité des clichés qui nous fourni un nombre beaucoup plus important de points temporels de référence. En effet les clichés disponibles peuvent remonter jusqu'aux années 1970 (LANSAT mis en fonctionnement en 1972, SPOT en 1986 ou IRS en 1988). Cette méthode est de loin la plus satisfaisante mais également la plus onéreuse. Bien que les techniques soient bien développées et relativement faciles d'application (simplicité du type d'occupation du sol à identifier), elle reste très chronophage puisqu'il faut créer en totalité les bases de données nécessaires aux calculs.

La présente recherche ne fait pas l'objet d'une commande et n'est donc pas financée. Nous n'avons donc que le choix d'adapter le choix des zones aux données disponibles gratuitement.

¹ Institut Géographique National

23.Choix du logiciel de traitement des données

Le traitement de bases de données spatiales nécessite l'utilisation de logiciels SIG (Système d'Informations Géographiques). Des versions de ArcGIS et Mapinfo sont disponibles et utilisables gratuitement dans les locaux du Département Aménagement de Polytech' Tours et sont totalement suffisantes pour gérer et manipuler les données.

Toutefois, le calcul de l'indice de division n'est pas intégré dans les fonctionnalités de ces logiciels et nous devons avoir recours à des logiciels annexes. L'un des plus connus et référence en la matière est le logiciel FRAGSTATS (Jaeger, 2000), (Lethuillier, 2007) et (DIREN PACA, 2008). Il a été développé par McGarigal K., Cushman S.A., Neel M.C., et Ene E. en 2002 et est téléchargeable sur le site internet de l'université du Massachusetts : 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, etc.) 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. L'indice de division est pris en charge.

a) Zone prise en compte dans les calculs.

Afin de ne mettre en évidence que l'effet de fragmentation de l'infrastructure autoroutière il faut limiter la zone analysée autour du tracé. En effet, si la zone est trop large les résultats peuvent être faussés par d'autres phénomènes fragmentant comme l'urbanisation ou les remembrements. Toutefois il faut que cette zone soit suffisamment large pour inclure les diverses, voies d'accès, aires de repos, de service ou échangeurs. Nous décidons d'étudier une zone de 1 kilomètre de chaque côté de l'infrastructure.

3. Choix des zones d'études

31.Critères de sélection

a) Des situations biogéographiques proches

Pour pouvoir comparer l'effet de fragmentation de deux autoroutes il n'est théoriquement pas nécessaire qu'elles s'inscrivent dans un contexte similaire. Cependant, il est préférable pour la justesse des interprétations, et le cas échéant pour évaluer une prise en compte, qu'elles se situent dans des zones biogéographiques proches. Par exemple, il serait inopportun de comparer l'effet de fragmentation sur les milieux forestiers de l'A77, qui traverse la plaine de la Beauce, avec l'A75 qui elle passe

dans le massif central. Dans un cas nous avons un paysage plat avec très peu de massifs forestiers et dans l'autre une topographie forte parmi les plus boisées de France. Les contraintes à prendre en compte sont de natures tout à fait différentes.

b) Le nombre de zones étudiées

Théoriquement il faudrait faire l'étude sur l'ensemble du réseau autoroutier français pour obtenir les résultats les plus justes possibles. De façon plus pragmatique, un échantillonnage plus réduit réparti dans différentes zones géographiques suffit à montrer l'évolution de la prise en compte du réseau écologique. Mais, compte tenu des délais de ce modeste travail, nous ne pouvons espérer appliquer la méthode à plus de deux sites tests. Les conclusions ne seront donc pas représentatives de l'ensemble du territoire mais uniquement de la zone restreinte étudiée.

c) Choix des classes temporelles

Comme nous l'avons dit précédemment, pour mettre en évidence l'évolution de l'effet de fragmentation des projets autoroutiers sur les milieux forestiers il nous faut plusieurs classes temporelles d'autoroutes.

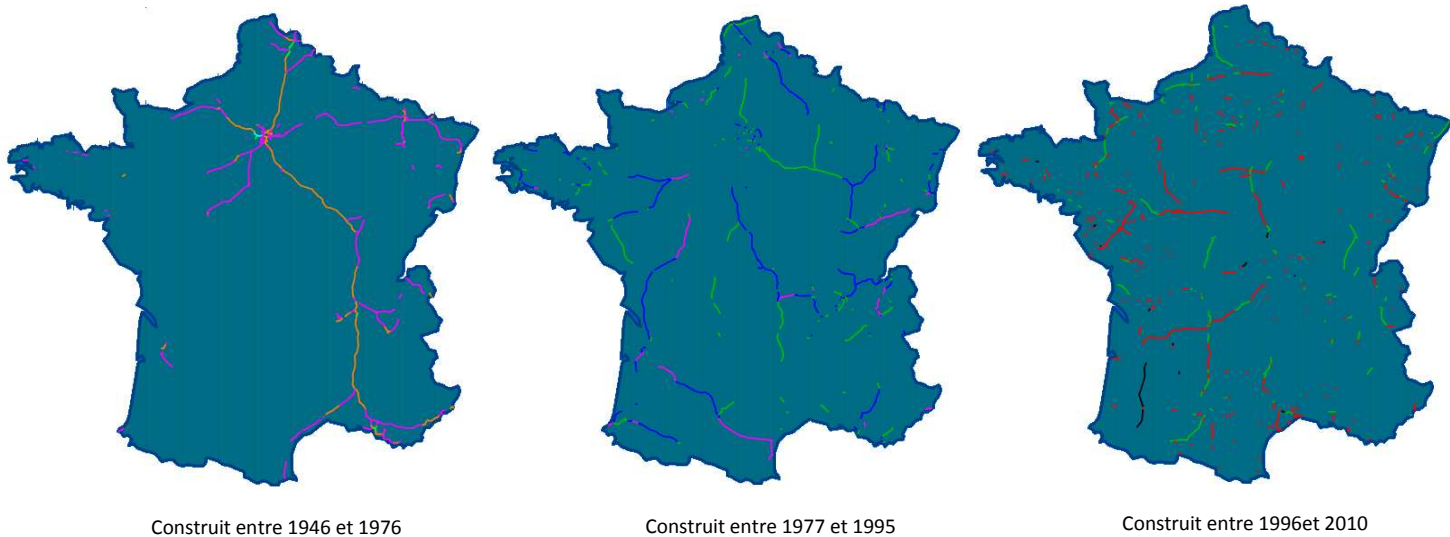
Nous pouvons classer les autoroutes françaises en plusieurs catégories temporelles. Dans un premier temps nous pouvons isoler les autoroutes conçues avant 1976, date d'instauration de l'étude d'impacts environnementaux (EIE) obligatoire. Ces dernières étaient conçues sans prendre en compte l'impact que le projet aurait sur l'environnement. Dans certains cas, les tracés étaient même étudiés pour passer par les forêts domaniales, zones naturelles importantes dans notre cas, pour des raisons de simplicité (moins coûteux et pas besoin de procédure d'expropriation) (Couderc, 1980). Pour n'en citer que quelques uns, les cas de la traversée des massifs de Fontainebleau par l'A6, de Bord-Louviers par l'A13 ou de Raismes-Saint-Amand-Wallers par l'A23 sont révélateurs des pratiques de l'époque. Cette catégorie s'élimine d'elle-même des périodes considérées, d'une part parce qu'on ne peut pas encore parler de prise en compte de l'environnement, et d'autre part du fait de la difficulté de réunir des informations fiables et précises de l'occupation du sol à l'état initial.

La deuxième borne temporelle que nous considérerons sera 1995, année d'adoption de la loi 1% paysage et développement qui impose une part de financement minimum pour des actions d'intégration de l'infrastructure dans le paysage. Cette date devrait marquer une rupture dans la façon de concevoir les autoroutes puisqu'elle impose, financièrement parlant, l'intégration dans son environnement ; et ce pas uniquement dans les environs immédiats du tracé. Nous allons donc tester l'hypothèse suivante : la loi paysage de 1995 a provoqué des changements dans les méthodes de conception des autoroutes qui améliorent l'intégration paysagère.

Il est important de souligner que dans le cas présent nous devons classer les autoroutes en plusieurs catégories temporelles et que cela nécessite le choix d'une date bien précise. En réalité le processus d'évolution n'est certainement pas si brutal et la loi paysage n'est pas l'unique menant aux changements supposés de méthodes. Cette loi est suivie, nous le rappelons, d'autres directives et lois d'orientations et est à

mettre également en parallèle avec les prises de conscience collectives ; le tout fonctionnant en synergie.

Voici ce que donne le réseau autoroutier divisé selon ce classement :

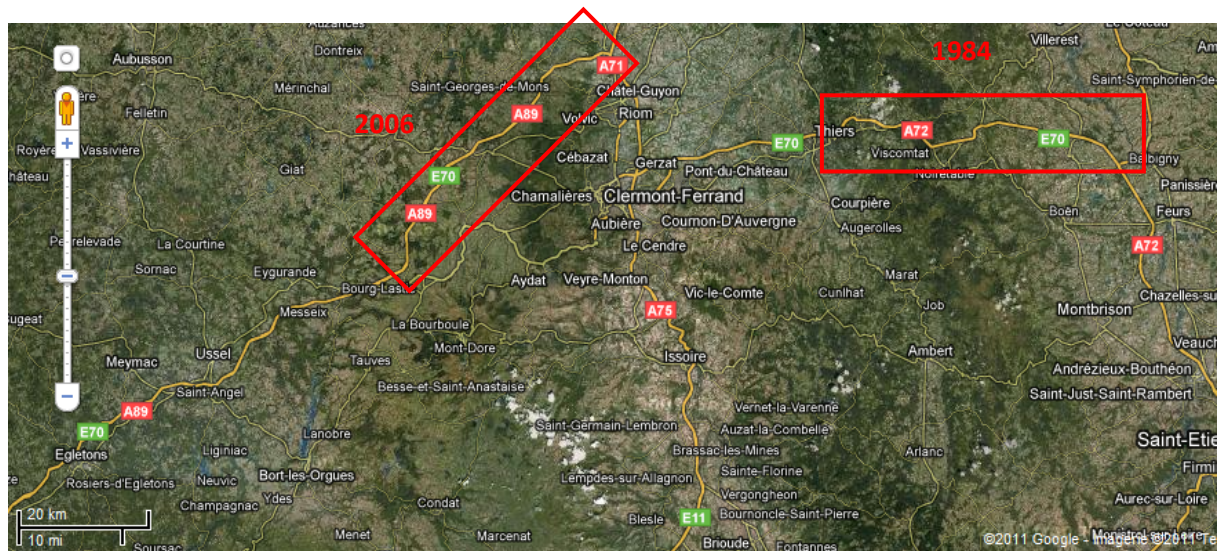


Carte 3 : Répartition des autoroutes selon les trois classes temporelles de l'étude
Source : Données SETRA

32.Exemple de zones d'études envisageables

Nous avons choisi une zone d'étude qui se situe sur les contreforts du massif central. Le choix de cette zone géographique s'explique par le fait de la bonne abondance des milieux forestiers dans cette région. Nous nous intéresserons à plusieurs tronçons de ce qui forme aujourd'hui une même autoroute : l'A89. Les deux sections étudiées sont :

- La section Chabreloche - Balbigny. Elle fut ouverte en 1984 sous le nom d'A72. Par la suite, elle fut assimilée à l'A 89 en 2006.
- La section Ussel – Combronde, ouverte en 2006.



Carte 4 : Localisation des tronçons étudiés sur fond d'image satellitaire
Source des données: Google Earth

4. Limites de la méthode

Même sans résultats à analyser il est possible de mettre en évidence certaines limites de la méthode.

41. Limites liées à l'indice

L'utilisation d'indices spatiaux, et notamment l'indice de division, met en évidence la fragmentation liée à la disposition spatiale des taches. Cette approche ne considère pas les propriétés des milieux et ne rend finalement pas compte l'effet barrière de l'infrastructure autoroutière. La méthode statue ici sur la fragmentation intrinsèque du tracé autoroutier sur le réseau de taches forestières et non sur les atteintes à la fonctionnalité du continuum écologique. Ainsi, l'évaluation de l'efficacité de la prise en compte du réseau écologique forestier n'est que partielle. Il est tout de même envisageable de coupler cet indice avec un second qui permet de quantifier la connectivité et la perméabilité comme dans le model coût déplacement.

42. Limite liée aux données

Par ailleurs, les données d'occupation du sol à la base de tous les calculs spatiaux ne rendent pas compte des effets qu'ont certains aménagements tels que les passages à faunes ou les ouvrages d'art aériens. En effets, les mesures conservatoires et d'atténuation diminuent l'effet barrière et donc l'impact fragmentant de l'infrastructure. Il serait donc intéressant de rajouté cette dimension au modèle.

43.Limite d'échelle

La méthode élaborée dans ce rapport n'analyse l'impact de l'infrastructure que dans les environs immédiats du tracé et ne permet donc pas appréhender les enjeux à plus grande échelle.

Conclusion partielles : Il aurait été intéressant de tester la méthode sur plusieurs sites afin de vérifier sa validité. Cela aurait également permis d'appréhender les limites et les difficultés d'ordre plus techniques (du type incompatibilité de fichiers, de logiciels, temps de calculs excessifs, etc.). Malheureusement les contraintes temporelles cumulées à la difficulté d'acquisition gratuite de données précises ne l'ont pas permis.

CONCLUSION

Le travail mené n'a malheureusement pas apporté d'éléments de réponses sur l'évolution de l'effet de fragmentation qu'ont les infrastructures autoroutières sur les milieux forestiers. Nous ne pouvons donc pas conclure sur les questions que nous nous sommes posées durant cette recherche.

Toutefois, nous avons développé une méthode qui devrait pouvoir statuer sur l'évolution des impacts fragmentant des tracés autoroutiers. De là, il devient possible de statuer sur l'efficacité des politiques mises en place pour améliorer la prise en compte des réseaux écologiques. Cette méthode n'a pas pu être testée, pour des raisons temporelles principalement. Elle présente tout de même des limites puisqu'elle ne représente pas l'effet barrière de l'infrastructure de transport.

BIBLIOGRAPHIE

Articles, revues et ouvrages :

BARRE, Alain. *Le réseau autoroutier français : un outil rapidement valorisé, des effets controversés*. In: *Annales de Géographie*. t. 106, n°593-594, 1997. pp. 81-106.

BUREL, Françoise, BAUDRY, Jacques. *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*. Paris : Tec & Doc, 1999. 359p.

CLERGEAU, Philippe, DÉSIRÉ, Guy. « Biodiversité, paysage et aménagement : du corridor à la zone de connexion biologique ». *Mappemonde*, n° 55, 1999. p. 19-23

COUDERC, Jean-Marie. « Autoroutes et espaces forestiers ». In: *Norois*, n°105, 1980. p. 33-44

FONDERFLICK, Jocelyn. *Conséquences de la fermeture et de la fragmentation des milieux ouverts sur l'avifaune nicheuse des Causses*. 211 f.

Thèse, Sciences de la vie et de la terre. Ecole doctorale : Systèmes intégrés, Environnement et Biodiversité

FORMAN, Richard T. T., GODRON, Michel. *Landscape Ecology*, New York: Wiley, 1986. 619p.

GASSER, Monique, VARLET, Jean, BAKALOWICZ, Michel. *Autoroutes et aménagements : interactions avec l'environnement*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004, 325p.

JAEGER, Jochen A.G. "Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation." *Landscape Ecology* n°15, 2000. p. 115–130

LETHUILLIER, Sylvain. *La fragmentation du territoire franc-comtois : Approche cartographique*. 40 f.

Rapport de stage en vue de l'obtention d'une maîtrise d'IUP : Génie des Territoires et de l'Environnement. Université de Franche-Comté. 2007

MENARD, Philippe, CLERGEAU, Philippe. « La notion de zone de connexion biologique son application en aménagement du territoire ». *Mappemonde*, n° 64, 2001. p. 24-29

MOUGENOT, Catherine, MELIN, Eric. « Entre science et action : le concept de réseau écologique ». *Nature Sciences Sociétés*, vol. 8, n° 3, 2000. p. 20-30

Sites internet :

DEBRAY, Adèle. « La notion de réseau écologique en France : construction scientifique, appropriation par les politiques publiques et traduction territoriale », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Débats et Perspectives, 2011. mis en ligne le 08 mars 2011. URL : <http://vertigo.revues.org/10687>. Consulté le 10 mai 2011.
Texte rédigé dans le cadre d'une thèse de doctorat en aménagement de l'espace - urbanisme, débutée en 2010 et d'un projet de recherche PIRVE (Programme Interdisciplinaire de Recherche Ville et Environnement, financé par le CNRS et le Ministère de l'Ecologie)

Rapports de l'état :

COMOP (Comité opérationnel de la trame verte et bleue)

ALLAG-DHUISME F., AMSALLEM J., BARTHOD C., DESHAYES M., GRAFFIN V., LEFEUVRE C., SALLES E. (Coord), BARNETCHE C., BROUARD-MASSON J., DELAUNAY A., GARNIER CC, TROUVILLIEZ J. *Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique – deuxième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France*. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 2010.

ALLAG-DHUISME F., AMSALLEM J., BARTHOD C., DESHAYES M., GRAFFIN V., LEFEUVRE C., SALLES E. (COORD), BARNETCHE C., BROUARD-MASSON J., DELAUNAY A., GARNIER CC, TROUVILLIEZ J. *Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques – premier document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France*. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 2010.

ALLAG-DHUISME F., BARTHOD C., BIELSA S., BROUARD-MASSON J., GRAFFIN V., VANPEENE S. (Coord), CHAMOUTON S., DESSARPS P-M., LANSIART M., ORSINI A. *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics – troisième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France*. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 2010.

Autres :

Stratégie nationale pour la biodiversité Plan d'action infrastructure de transports terrestres : 2e période de programmation 2008/2010. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. 2009. 10 p.

LA FRAGMENTATION DES MILIEUX NATURELS : 1- Etat de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels. DIREN PACA. 2008. 73p.

TABLE DES SCHEMAS

Schéma 1 : Les six fonctions d'un corridor	p.10
Schéma 2 : différence entre corridor et zone de connexion biologique	p.11
Schéma 3 : schéma d'un réseau écologique	p.11
Schéma 4 : fragmentation d'un boisement du Wisconsin	p.16
Schéma 5 : Illustration de l'effet lisière avec le cas de l'ouverture d'un couloir au sein d'une forêt	p.17
Schéma 6 : schéma récapitulatif de la méthode	p.23

TABLE DES CARTES

Carte 1 : Evolution du réseau autoroutier français de 1960 à 2010	p.13
Carte 2 : Représentations cartographiques des différences de précision entre les bases de données de Corine Land Cover et de l'IGN. Cas du nord de la commune de Namur En vert et orange des milieux forestiers.	p.26
Carte 3 : Répartition des autoroutes selon les trois classes temporelles de l'étude	p.29
Carte 4 : Localisation des tronçons étudiés sur fond d'image satellitaire	p.30

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : **tableau comparatif de 3 sources de bases de données d'occupation du sol**
p.25

Directeur de recherche :
Philippe Marc-André

Papet Guillaume
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2010-2011

Titre : La prise en compte du réseau écologique forestier dans les projets d'infrastructures autoroutières

Résumé :

De nos jours, la biodiversité connaît une crise majeure à l'échelle planétaire. Les raisons sont d'ordre anthropique. Dans nos pas la principale cause vient du changement de l'utilisation du sol couplé avec la fragmentation de l'espace. L'écologie du paysage montre la nécessité pour les espèces animales de pouvoir se déplacer dans et entre leurs habitats. C'est sur ce constat que le concept de réseau écologique est apparu et s'est progressivement retrouvé au cœur des politiques environnementales actuelles. Ce réseau rentre en conflit avec celui des infrastructures autoroutières. Pour concilier les deux, des politiques de réduction de la fragmentation provoquée par les projets autoroutiers ont été menées. Ce rapport cherche à déterminer si les actions engagées sont efficaces et s'il y a bien une diminution de l'impact des projets sur l'environnement.

Mots clés + mots géographiques (Réseau écologique, autoroute, fragmentation, France)