

Infrastructures de transport, biodiversité et territoire

L'apport de l'écologie du paysage

Économie
Environnement
Conception

95

La Stratégie Nationale pour la Biodiversité a été adoptée en 2004 par le gouvernement, pour répondre aux enjeux de conservation de la biodiversité en France et à ses engagements internationaux, en particulier ceux de la Convention sur la Diversité Biologique. Depuis novembre 2005, onze plans d'actions sectoriels ont été adoptés dont celui qui traite des infrastructures de transports. Venu renforcer ce dispositif, le Grenelle de l'environnement propose, dans l'une de ses actions, la création d'un réseau écologique – « la Trame verte et bleue » - (d'ici 2012). La trame verte et bleue, outils de l'aménagement du territoire vise à préserver et restaurer les continuités dites écologiques en (re)constituant un réseau d'échanges cohérent à l'échelle du territoire national ; ceci afin que les espèces animales et végétales puissent, à l'instar de l'homme, communiquer, circuler, s'alimenter, se reproduire, se reposer,... en d'autres termes assurer leur survie.

Les infrastructures de transport, en fragmentant le territoire, contribuent à la rupture de ces continuités écologiques. La réduction de la surface des habitats et des échanges intra-spécifiques qui en résulte, conduit à l'isolement des populations [8][9][10][11] et à plus ou moins long terme, à leurs déclin.

L'écologie du paysage peut apporter une réponse pertinente à l'élaboration de la trame verte et bleue. Elle apporte à l'aménageur, une analyse des structures spatiales (espaces naturels et/ou anthropiques) et des processus écologiques qui caractérisent un territoire. Cette approche dynamique des structures éco-paysagères enrichit et complète les analyses « classiques » des milieux naturels et du paysage. Elle permet ainsi d'optimiser l'intégration des fonctionnements écologiques (et non plus uniquement de la répartition spatiale des habitats et des espèces à un instant donné) dans les processus de création ou de requalification environnementale du réseau d'infrastructures de transports.

L'objectif de la présente note est d'informer et de sensibiliser les services de l'État, les concepteurs et gestionnaires d'infrastructures de transports à l'intérêt d'utiliser « l'écologie du paysage » comme outils de diagnostic et/ou d'aménagement des territoires.

Sommaire

Qu'est ce que l'écologie du paysage ?	2
Écologie du paysage et infrastructures de transports.....	4
Mise en œuvre dans les projets de création ou de requalification environnementale d'infrastructures de transports	7
Conclusion	17
Annexes	18
Bibliographie.....	24
Glossaire.....	26
Sigles.....	28

Qu'est ce que l'écologie du paysage ?

Une discipline permettant d'appréhender le fonctionnement écologique d'un territoire

L'*écologie du paysage* appréhende sur un niveau d'organisation large (échelle du paysage) et permet d'étudier comment la structure et la dynamique des paysages hétérogènes influent sur les phénomènes écologiques.

Contrairement à l'écologie traditionnelle qui s'intéresse à la dynamique de la biodiversité (non modifiée par l'homme) à toutes les échelles spatiales et temporelles, l'écologie du paysage (associée à l'étude des *métapopulations*) s'intéresse à l'évolution et au fonctionnement écologique des paysages [3].

Sous l'effet des interactions complexes entre *processus écologiques* et *organisation des structures spatiales* (qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique), l'écologie du paysage permet de hiérarchiser et d'intégrer les enjeux liés à la biodiversité (habitats, populations, déplacements) dans la planification de l'aménagement du territoire.

Quelques notions liées à l'écologie du paysage

En associant une approche biogéographique et parfois sociale et historique à l'écologie classique, les concepts de l'écologie du paysage permettent de mieux étudier les impacts des activités humaines, lesquelles semblent devenues le facteur majeur de fragmentation des habitats et par conséquent de l'érosion de la biodiversité.

L'écologie des métapopulations¹

Elle étudie les habitats qui sont favorables à l'installation d'une espèce ou d'un ensemble d'espèces, et les relations qui existent entre les sous-populations qui peuplent ces habitats. La fragmentation des écosystèmes a pour conséquences directes la réduction de la taille des populations, la modification de la structure des écosystèmes et la limitation ou l'arrêt des échanges entre populations.

Dans un paysage caractérisé par une telle hétérogénéité spatiale beaucoup d'espèces sont réduites à l'état de populations isolées qui peuvent s'éteindre sous l'action de processus variés². Mais, lorsque les individus de ces populations sont capables de se disperser et de franchir les espaces qui séparent les divers milieux occupés par cette espèce, des processus de colonisation pourront compenser les processus d'extinction.

Le paysage

Le paysage, dans son approche écologique et fonctionnelle, est une surface hétérogène, constituée par un ensemble de milieux en interaction, relativement homogènes tels que des champs, des prés, des bois, des villages et des villes, etc. La dimension d'un paysage est variable. Elle peut s'abaisser à quelques kilomètres mais elle peut être bien supérieure. Un bassin versant de rivière, une région de bocage, une plaine cultivée parsemée d'îlots forestiers résiduels sont des exemples de paysages.

Dans un paysage naturel ou peu modifié la structure horizontale (type de paysages), telle qu'on peut l'observer sur une carte ou une photographie aérienne à petite échelle est en général peu contrastée. Les zones à structure homogène y sont de grande étendue et les écotones (zones de transition) ont une grande importance. Dans un paysage modifié les divers éléments ont des surfaces plus ou moins réduites et la transition d'un milieu à l'autre est rapide et lourde de conséquences pour la libre circulation des espèces.

¹ Une *métapopulation* est un ensemble de sous-populations *interconnectées* par des individus qui se dispersent et qui fonctionnent en réseau [6] [7]

² Ces petites populations isolées perdent leur variabilité génétique (entraînant ainsi une réduction de la valeur d'adaptation individuelle et de l'adaptabilité de la population) et tendent vers la réduction voire l'extinction de la population.

Terminologie de l'écologie du paysage

Le paysage dans sa dimension fonctionnelle et écologique est formé de plusieurs éléments ; **la matrice, le réservoir de biodiversité, le corridor écologique** et **les zones tampons**. Ils forment ainsi ce que l'on appelle le **réseau écologique** (réseau fonctionnel des habitats et corridors qui permettent la circulation des espèces). Dans l'aménagement du territoire, celui-ci est pris en compte à des échelles globales (écopaysagère) et/ou locales (Figure 1 et 1bis).

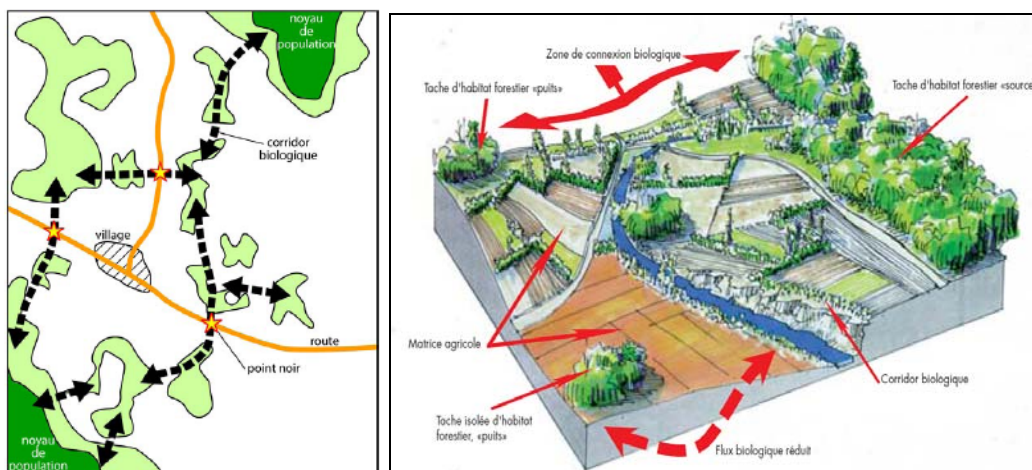


Figure 1 et 1bis . unités écologiques du paysage et hétérogénéité de la zone de connexion biologique –
Source : dessin de R. Balej [2]

La matrice désigne généralement l'élément dominant d'un paysage, observé à la fois en tant que support et produit de la biodiversité. On dira - par exemple - pour un paysage donné et à une échelle donnée que les habitats utilisés par une espèce ou un groupe d'espèce pour leur déplacement s'insère dans une « matrice » de type milieux artificialisés, milieux agricoles intensifs ou de type polyculture-élevage, milieux forestiers, etc. [1].

Le réservoir de biodiversité ou îlot (ou encore tache ou zone nodale) est un espace naturel où la biodiversité est la plus riche et la mieux représentée. L'essentiel du cycle de vie d'une espèce (alimentation, reproduction, migration, repos) peut y être accompli. Quand cet espace est fractionné, pour des raisons diverses et variées, la nécessité de communication avec les autres sources de biodiversité s'avère alors vitale pour la survie de l'espèce..

Les corridors écologiques sont des zones utilisées par les individus pour se déplacer d'un réservoir de biodiversité à l'autre. Ils sont indispensables pour satisfaire d'autres besoins de circulation et de dispersion d'une espèce (recherche de nouveaux territoires, de nouveaux partenaires, ...).

Les zones tampons sont des espaces qui jouxtent les corridors et/ou les réservoirs de biodiversité. Elles jouent un rôle de protection à l'interface avec d'autres milieux.

Les « continuum écologiques » désignent l'ensemble des milieux favorables à un groupe d'espèces. Ils sont composés de plusieurs éléments continus (sans interruption physique) incluant un ou plusieurs réservoirs de biodiversité, les zones tampons et les corridors partiellement ou temporairement utilisés par le groupe d'espèces.

Le concept de **connectivité** est relatif à la disposition et au nombre de liaisons (corridors) qui existent entre les divers îlots d'un paysage noyés dans la matrice. La connectivité est d'autant plus élevée que les éléments du paysage sont mieux réunis par les corridors. Elle est donc fonction de deux paramètres : la structure paysagère et les capacités des espèces à se mouvoir et à évoluer dans cette structure.

Écologie du paysage et infrastructures de transports

Un outil de concertation pour l'aménagement intégré du territoire

De nombreux acteurs de terrain, maîtres d'ouvrage et autres aménageurs de l'espace, sont aujourd'hui conscients de la **nécessité d'avoir une connaissance du fonctionnement écologique de leur territoire pour réaliser un aménagement durable intégrant les enjeux de biodiversité.**

Par son approche pluridisciplinaire, l'écologie du paysage élargit les champs classiques de l'analyse écologique territoriale, généralement focalisée sur les espaces et les espèces naturels remarquables. Elle constitue, pour les aménageurs et gestionnaires de territoires un outil de concertation et de réflexion sur toutes les composantes d'un paysage, espaces naturels ordinaires compris.

Parce qu'elle impose de prendre en compte un large éventail de facteurs (géographiques, socio-politiques, économiques, etc.), la pluridisciplinarité de l'écologie du paysage permet d'identifier les impacts des activités liées aux différents acteurs du territoire. Par conséquent, elle constitue un outil de concertation et de réflexions pour une meilleure compréhension des interactions entre composantes écologiques et anthropiques d'un territoire donné. Elle s'attache de ce fait, à l'analyse des espaces naturels remarquables et ordinaires.

Par ailleurs, par l'usage de notions dédiées (corridor, continuité, etc.) et de supports pédagogiques (cartographie des enjeux par exemple), l'écologie du paysage facilite la communication entre les acteurs d'un territoire pour leur donner d'une part, des éléments de compréhension du fonctionnement d'un territoire et d'autre part, des outils pertinents d'aide aux choix d'aménagements. Mis-à disposition et alimenté par l'ensemble des acteurs locaux, ce porté à connaissance constitue un document de référence ré-utilisable pour de futurs projets d'aménagements.

Une aide à la conception des projets neufs et la mise à niveau environnementale du réseau existant

L'écologie du paysage permet de mieux appréhender l'influence d'un projet neuf ou existant sur les processus dynamiques naturels d'un territoire donné (fonctionnement écologique et paysager). Selon le stade d'avancement d'un projet, les outils développés par cette démarche apportent des éléments de planification dans les domaines de la conception, de la gestion et de l'évaluation. Elle constitue :

1) Une aide au développement de stratégies de gestion. Chacune des infrastructures de transport s'inscrit dans un territoire particulier au contexte, structures et fonctionnements écologiques qui lui sont propres. L'écologie du paysage peut être un outil d'identification et de caractérisation de ces éléments. Il est ainsi possible de dégager, sur une section d'infrastructure, les enjeux patrimoniaux spécifiques tels que la définition des corridors écologiques essentiels à certaines espèces et la matérialisation des habitats concernés par leurs déplacements (par exemple, pour les batraciens, il s'agit des mares pour la reproduction, de forêts pour l'hibernation et de haies pour les transits entre ces zones). Les connaissances ainsi capitalisées constituent un outil d'aide au développement et à l'application de stratégies de gestions adaptées au contexte « espèces - habitats – infrastructures ». L'identification de ces enjeux permet d'amorcer une réflexion sur les futurs moyens à mettre en place dans la gestion des interrelations entre enjeux écologiques identifiés et projets d'infrastructures.

2) Une aide à l'évaluation de l'impact des infrastructures de transports sur les milieux naturels en permettant d'appliquer au mieux la logique du triptyque « évitement, réduction, compensation » instaurée par l'article 2 de la loi du 10 juillet 1976, sur la protection de la nature, introduisant dans le droit français l'obligation faite à un maître d'ouvrage d'effectuer une étude d'impact. Ces enjeux sont alors intégrés dès les études d'opportunité au même titre que les dimensions de coût et d'efficacité. Par une analyse à des échelles emboîtées adaptées, l'écologie du paysage permet d'appréhender toute la diversité écologique d'un territoire, et de faciliter la hiérarchisation des enjeux puis la cohérence des mesures qui seront prises en faveur de la biodiversité.

En région Nord-Pas-de-Calais, où de futurs projets d'implantation d'infrastructures de transports sont à l'étude, le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE : analyse eco-paysagère régionale reposant sur l'identification des trames vertes et bleues) constitue la base du diagnostic de fonctionnalité et de dynamique écologique d'un territoire.

L'exemple ci-dessous (Figure 2), présente les impacts potentiels d'un réseau d'infrastructures autoroutières sur la fonctionnalité écologique des corridors du cerf élaphe lors de la phase de conception détaillée préalable à la phase de

chantier. La connaissance de ces éléments écologiques a permis à la maîtrise d'œuvre de signifier précisément ses exigences auprès des entreprises de travaux, puis de s'assurer du respect des prescriptions environnementales et de leurs réalisations.

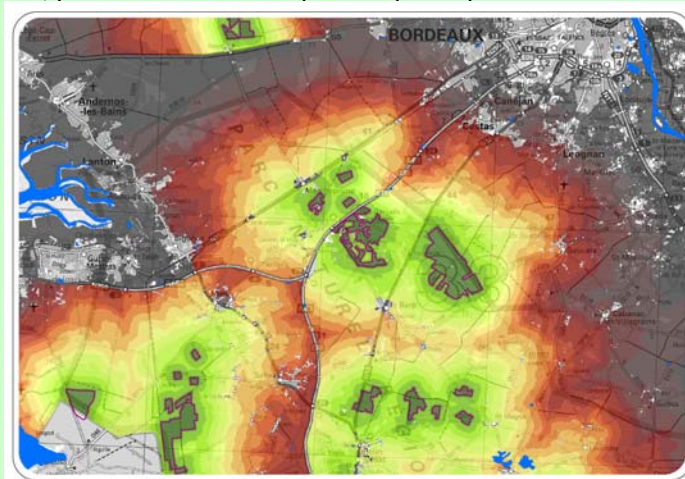


Figure 2 : effet de la fragmentation de la N10 et N660 entre Bordeaux et Arcachon (CETE SO)

3) Une aide à la conception ou à la localisation des mesures d'insertion environnementales. Ainsi la compréhension et la caractérisation des couloirs de déplacements d'un ensemble d'espèces donné, sur un réseau d'habitats donné, permettent aux gestionnaires d'infrastructures le positionnement optimal de mesures techniques qui visent au rétablissement des continuités écologiques.

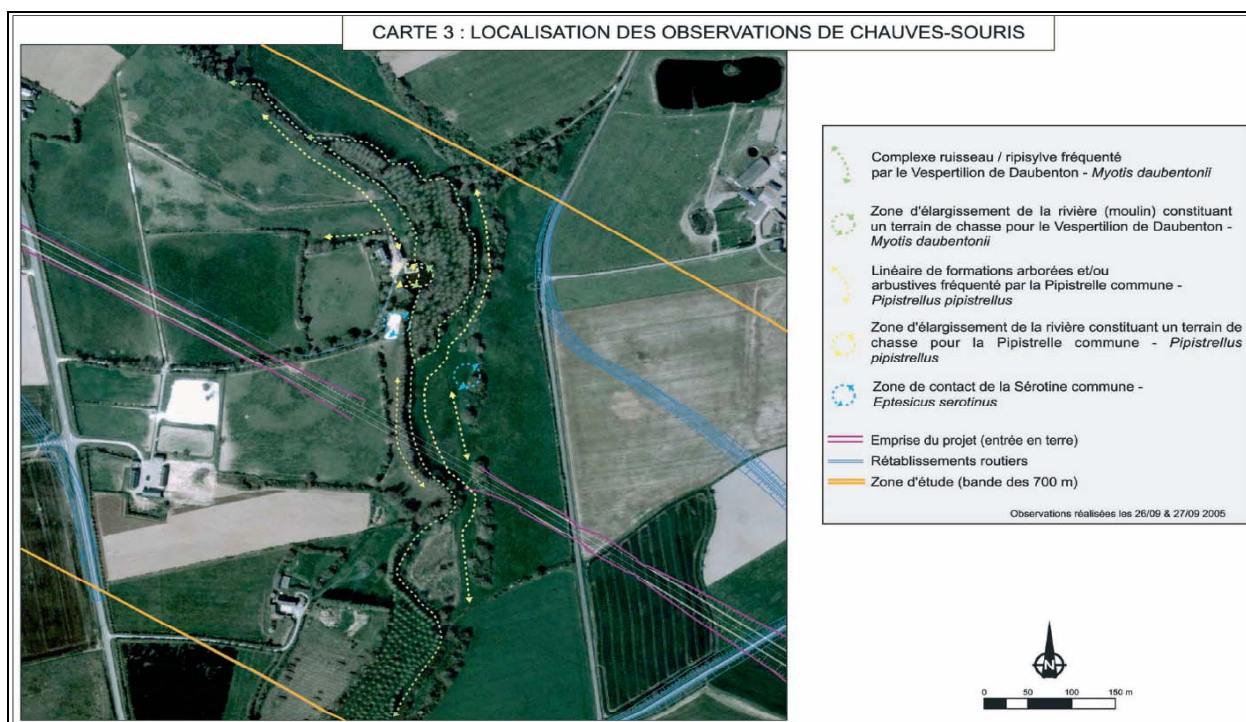


Figure 3 : localisation des observations de chauves-souris : cas du projet ferroviaire LGV Bretagne (Pays de la Loire) –
Source : Dossier d'évaluation des incidences. Vallée de l'Erve (RFF, 2006)

La figure 3 présente le résultat de l'analyse d'une structure paysagère en relation avec un projet ferroviaire de LGV. Elle met ainsi en évidence le rôle majeur de la ripisylve (franchie en viaduc) dans le maintien et la pérennité des déplacements de chiroptères de part et d'autre de la voie. Ce diagnostic, obtenu grâce à une analyse éco-paysagère, révèle l'existence du lien entre une structure particulière du paysage (les haies) et son rôle fonctionnel pour un groupe d'espèce.

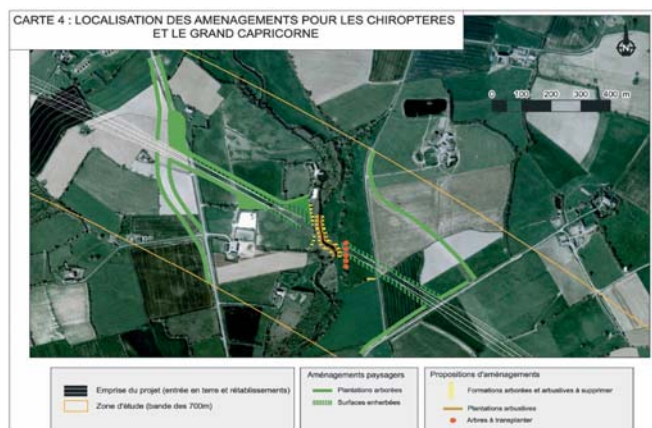


Figure 4 : localisation des aménagements en faveur des chiroptères : cas du projet ferroviaire LGV Bretagne Pays de la Loire) – Source : Dossier d'évaluation des incidences. Vallée de l'Erve (RFF, 2006)

La connaissance écologique du territoire d'étude permet d'intégrer le plus en amont possible des projets la conception des mesures d'insertion environnementale. Ainsi, en modifiant légèrement (via des aménagements de génie végétal) l'emplacement du corridor (Figure 4), il est possible d'allier enjeux écologiques (préservation des corridors écologiques) et enjeux socio-économiques (tracé de la future voie ferrée). Dans le cas présent, un aménagement des éléments structurants le paysage (plantations de haies parallèlement à la voie), permettra d'orienter les chiroptères vers un corridor écologique fonctionnel assurant le franchissement de l'infrastructure. Les risques de collisions avec les trains sont ainsi fortement minimisés.

4) Une aide au développement de stratégies de restauration/réhabilitation environnementale des réseaux d'infrastructures en vue d'une dé-fragmentation écologique du territoire. Pour répondre à cet enjeu, l'écologie du paysage permet d'identifier et de hiérarchiser les structures du territoire porteuses de biodiversité (réservoirs et corridors). Ainsi, le croisement entre les flux de déplacements des espèces et le degré de perméabilité des ouvrages permet (en complément des études sur la mortalité) d'obtenir une cartographie des points de conflits (figure 5) entre espèces et infrastructures. Cette géo-localisation débouche sur des programmes de mise à niveau environnementale des infrastructures, en identifiant les secteurs qui bénéficieront d'opérations d'aménagement et/ou de rénovation en faveur du maintien des fonctionnalités écologiques.

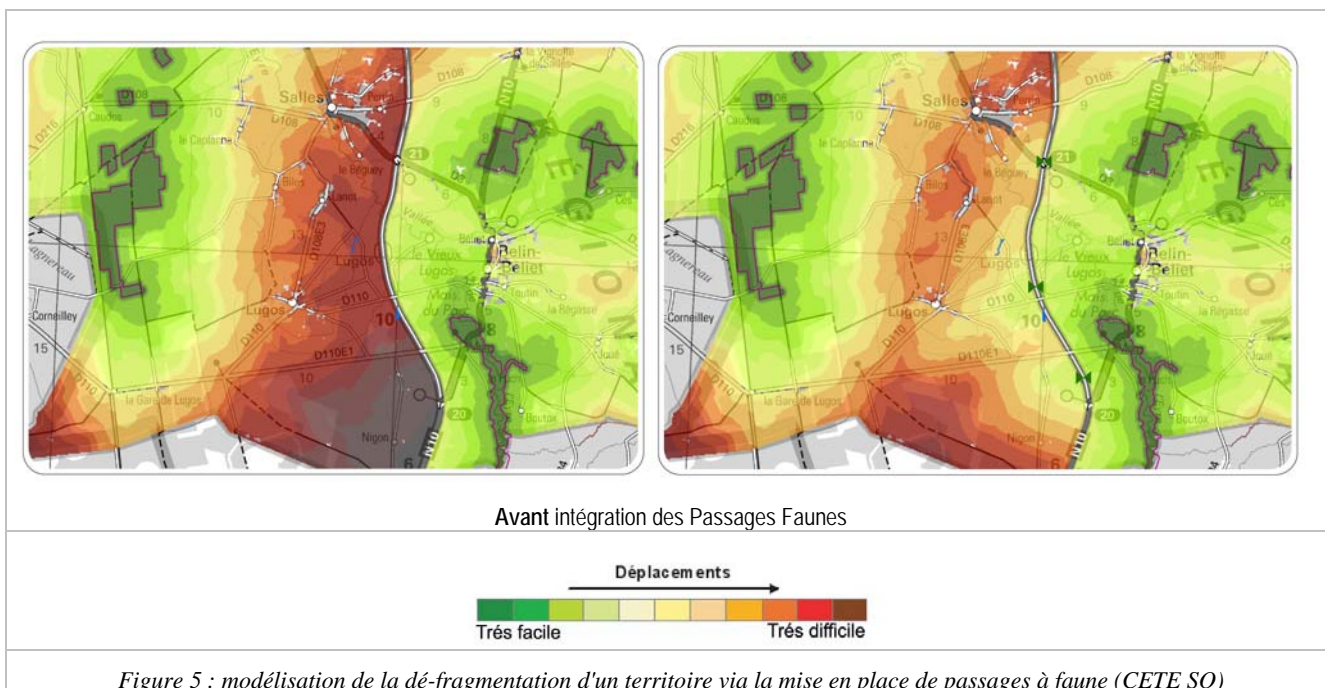


Figure 5 : modélisation de la dé-fragmentation d'un territoire via la mise en place de passages à faune (CETE SO)

5) Une aide pour l'évaluation de l'efficacité des mesures. À l'occasion du bilan environnemental réalisé à trois et cinq ans après la mise en service d'une infrastructure, l'écologie du paysage permet d'évaluer l'efficacité des mesures environnementales qui ont été mises en place. A titre d'exemple, suite à la réalisation/réhabilitation d'un ouvrage ayant pour objectif le rétablissement d'une continuité écologique, l'analyse éco-paysagère permet de diagnostiquer l'efficacité de la perméabilité de l'infrastructure (remarque : à l'échelle de l'ouvrage, une modélisation ne peut remplacer l'analyse éco-paysagère de terrain) . Pour être réellement pertinente, cette méthode de comparaison de diagnostics (état initial avant travaux / état après travaux) se doit de reposer sur des techniques d'acquisition et d'analyse de données similaires. Elle s'appuie en complément sur la base de descripteurs et indicateurs choisis en phase initiale du projet si possible pour décrire l'efficacité des ouvrages et répondre aux questions suivantes dans les bilans ultérieurs (bilan LOTI) : les ouvrages sont-ils fonctionnels ? constate-t-on un maintien voire une augmentation des populations animales en présence ?

Mise en œuvre dans les projets de création ou de requalification environnementale d'infrastructures de transports

Une démarche d'analyse progressive (cf. Figure 6)

En amont de la déclaration d'utilité publique

Au stade des études d'opportunité, l'écologie du paysage permet de caractériser les fonctionnalités écologiques d'un territoire sur une grande échelle spatiale (1/50 000^e). Elle met ainsi en évidence, via un croisement des données existantes, les réservoirs biologiques, les corridors, les barrières et les points de conflit potentiels, des « *continuum* » en présence. Les résultats de cette analyse sont ensuite intégrés à la comparaison multicritères des fuseaux (logique d'évitement/réduction), comparaison à l'issue de laquelle un fuseau de moindre impact est défini et sur lequel porteront les études préalables à l'enquête publique ;

Dans le cadre des études préalables à l'enquête publique (notamment les études d'impacts), l'écologie du paysage permet d'approfondir et d'actualiser les diagnostics de fonctionnalités écologiques. Des campagnes d'inventaires supplémentaires et plus ciblées permettent de mieux appréhender les enjeux écologiques qui

caractérisent l'emprise du fuseau d'études (1/25 000^e et/ou 1/5 000^e). Celles-ci, une fois complétées, sont remises en perspective en intégrant les évolutions liées à la dynamique des territoires (développement urbain, activités agricoles, etc.). L'ensemble de ces éléments permet de définir les secteurs à enjeux (réservoirs et corridors biologiques) et de fixer les modalités nécessaires à leur maintien, à leur renforcement, voire à leur reconstitution.

En aval de la déclaration d'utilité publique

Au stade de conception détaillée du projet, l'analyse de l'écologie du paysage vise à ajuster une nouvelle fois les mesures environnementales et apporter les éléments nécessaires à la conception technique du projet. Une actualisation de l'état initial réalisé lors des études préalables s'avère parfois nécessaire en raison soit d'un laps de temps important entre les études préalables et la réalisation des travaux, soit d'une importante évolution du territoire suite à des aménagements fonciers (respect des engagements de l'état pris à l'occasion de la déclaration d'utilité publique ; ceux-ci doivent introduire une notion de fonctionnalité des ouvrages et non pas uniquement une notion de présence absence). Cette actualisation vise à vérifier l'efficacité et la pertinence des mesures initialement proposées. A ce niveau, l'écologue doit être associé dès la phase de conception, et des itérations doivent être prévues entre les projeteurs, les écologues, les paysagistes et les équipes de conception d'ouvrages d'art ainsi que les hydrauliciens. Il s'agit d'ajuster au fur et à mesure les principes d'aménagement en intégrant les contraintes techniques de chaque discipline.

Dans le cadre de la requalification environnementale des infrastructures en exploitation (mise à niveau), la démarche d'analyse vise à identifier les points de conflit existants et les enjeux écologiques au regard de l'infrastructure de transport existante. Pour cela, les enjeux fonctionnels de la zone d'étude (réservoirs de biodiversité, corridors écologiques potentiels et déplacements de populations) sont analysés à différentes échelles (régionale à locale) et croisés avec la dynamique des territoires et ses effets induits sur les fonctionnements écologiques des paysages. Une confirmation de ces points de conflits doit également être réalisée par des relevés de collisions (comptages réguliers, avec positionnement, des cadavres d'animaux sur l'infrastructure) et relevés d'accidentologie avec la faune faits par l'exploitant de l'infrastructure routière ou autoroutière voire ferroviaire. Les résultats de cette analyse débouchent sur une hiérarchisation des enjeux de rétablissement des corridors et permettent à la maîtrise d'ouvrage, en concertation avec les partenaires locaux, de mettre en

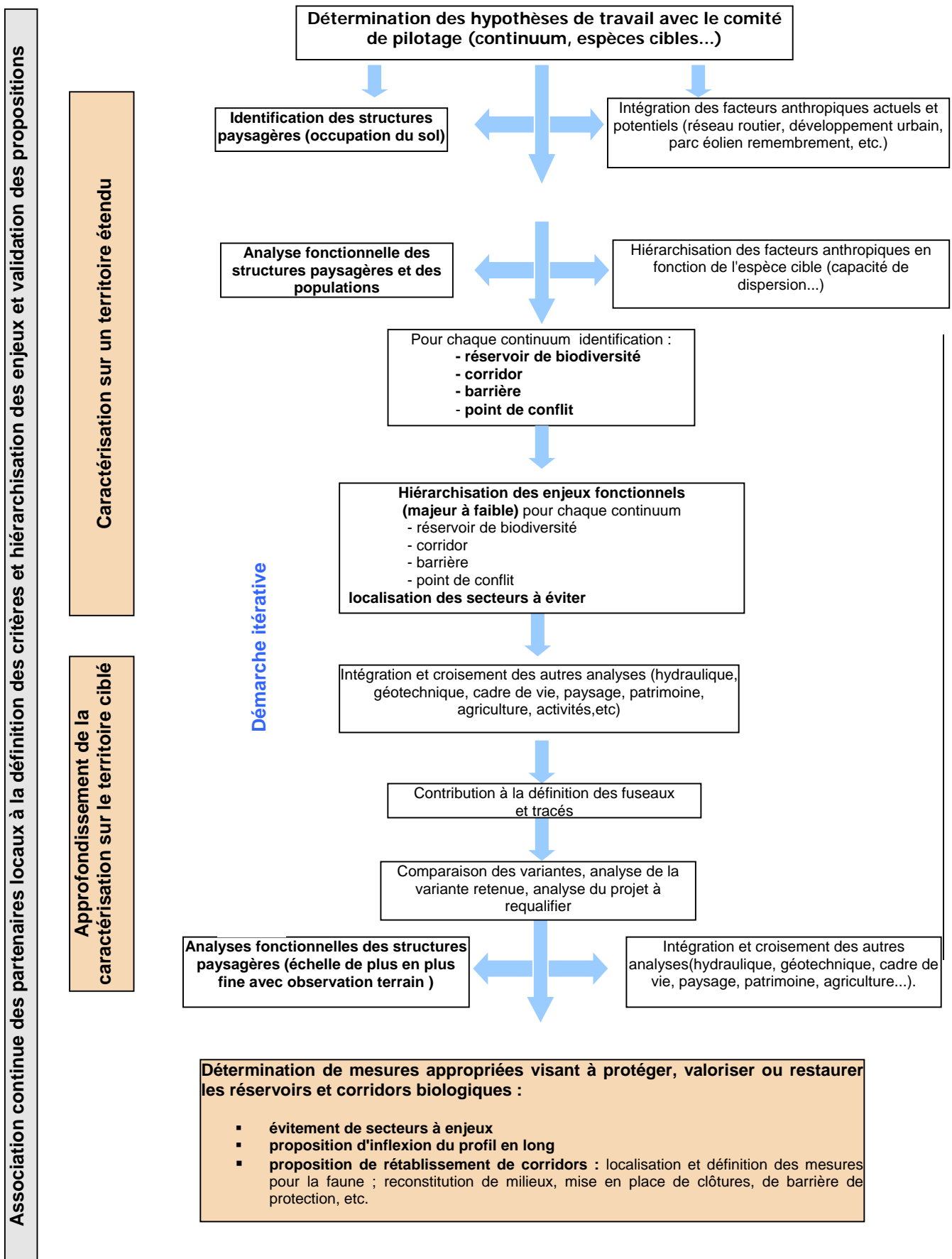


Figure 6 – Démarche générale de l'analyse "Écologie du paysage" applicable à chaque phase de projet neuf ou de requalification environnementale d'une infrastructure de transport (CETE NC)

En pratique le recueil de données débute très tôt par la recherche de l'ensemble des données disponibles et utiles (protections réglementaires, habitats, éléments de fragmentation, etc.). Ces informations sont issues de l'analyse de bases de données diverses.

La pertinence de l'analyse écologie du paysage est tributaire de la qualité et de la fiabilité de ces données et de leur recueil. De ce fait, il est indispensable d'associer les acteurs locaux institutionnels et associatifs dont la connaissance du territoire permet d'orienter puis de valider les choix d'analyse et les mesures de gestion qui en découlent. A ce titre, le cadrage préalable³ permet de définir les informations qui seront prises en compte lors de la réalisation de l'étude d'impact et les solutions alternatives à étudier (éviter, réduire, compenser). L'objectif du cadrage préalable est avant tout de permettre de définir le degré de précision et le contenu de l'évaluation avant la phase finale et l'avis obligatoire de l'autorité environnementale (*remarque* : Il est donc opportun de saisir cette dernière dès le début de la conception du document de planification). Il s'inscrit dans un processus itératif au cours duquel, au fur et à mesure de la disponibilité des informations, la maîtrise d'ouvrage affine avec les services de l'État le degré de précision de son rapport environnemental.

Le recueil de données est une étape primordiale qui conditionne l'efficacité des actions à venir en faveur du rétablissement des continuités écologiques. Le Maître d'ouvrage doit donc cerner très en amont et avec précision les objectifs à atteindre tout en étant conscient des limites de l'exercice (disponibilité des données). Les informations qui seront recueillies lors de cette étape alimentent un modèle qui permettra l'identification des freins rencontrés lors des déplacements d'une espèce donnée (ou d'un groupe d'espèces ayant les mêmes exigences écologiques) dans un continuum donné. Elles alimenteront aussi les descripteurs et indicateurs de la transparence écologique de l'infrastructure de transport.

Les paramètres ainsi considérés proviennent essentiellement d'éléments issus d'études diverses sur les thématiques suivantes : biologie, écologie, paysages, ... Celles-ci étant bien entendues, exploitées et interprétées sous un angle fonctionnel. Le tableau 1 et l'annexe 1 présentent, à chaque étape de la vie d'une infrastructure, les éléments qui servent à alimenter et optimiser l'efficacité de l'outil « écologie du paysage ».

Lorsque ce travail, qui prend la forme d'une modélisation cartographique, est le fruit de campagnes de mesures trop anciennes et/ou obsolètes, un travail d'actualisation des données s'avère obligatoire. De la même manière, les données bibliographiques existantes ne permettent pas de s'affranchir d'un recueil de données de terrain nécessaire à l'actualisation et la validation du modèle.

L'analyse des données recueillies : modéliser et cartographier

Les données recueillies lors de cette démarche permettent de comprendre et d'analyser les processus écologiques qui caractérisent un territoire donné. La restitution de ce travail et l'interprétation qui en résulte se font principalement sous la forme d'une cartographie. La géomatique est l'outil généralement privilégié pour l'analyse de ce type de données.

La cartographie des corridors écologiques (passés, existants ou potentiels) s'attache à les répertorier et les hiérarchiser, c'est-à-dire les lieux ou réseaux de lieux qui réunissent les conditions de circulation d'une ou plusieurs espèces dans le paysage. Cette cartographie (sur plusieurs échelles de travail), plus ou moins précise et complexe, repose sur les éléments de naturalité, de fragmentation écologique du territoire d'étude et de données relatives à la mortalité routière de ou des espèce(s) concernées.

Les données recueillies lors de cette démarche permettent de comprendre et d'analyser les processus écologiques qui caractérisent un territoire donné. La restitution de ce travail et l'interprétation qui en résulte se font principalement sous la forme d'une cartographie. La géomatique est l'outil généralement privilégié pour l'analyse de ce type de données.

La cartographie des corridors écologiques (passés, existants ou potentiels) s'attache à les répertorier et les hiérarchiser, c'est-à-dire les lieux ou réseaux de lieux qui réunissent les conditions de circulation d'une ou plusieurs espèces dans le paysage. Cette cartographie (sur plusieurs échelles de travail), plus ou moins précise et complexe, repose sur les éléments de naturalité, de fragmentation écologique du territoire d'étude et de données relatives à la mortalité routière de ou des espèce(s) concernées.

Depuis quelques décennies, l'intensité et l'étendue des activités humaines (urbanisation, construction d'infrastructures, intensification de l'agriculture) a profondément modifié, les possibilités de communication et d'échange pour la faune et flore sauvages (fragmentation du territoire). Sans ces échanges vitaux, ces espèces sont alors menacées d'isolement, voire de disparition. En d'autres termes, il ne suffit plus aujourd'hui pour maintenir la biodiversité de créer des îlots de nature

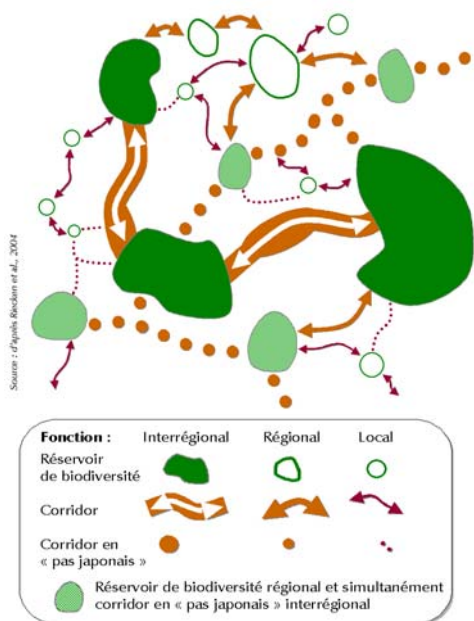
³ Le cadrage préalable de l'étude d'impact a été introduit par la directive européenne du 3 mars 1997 [12] et transposé dans le droit français par les décrets du 20 mars 2000 [13] et du 1er août 2003 [14]. Il permet au maître d'ouvrage de faire appel à l'autorité compétente pour autoriser ou approuver un projet : « Le pétitionnaire ou le maître de l'ouvrage peut obtenir de l'autorité compétente pour autoriser ou approuver le projet de lui préciser les informations qui devront figurer dans l'étude d'impact. Les précisions apportées par l'autorité compétente n'empêchent pas celle-ci de faire, le cas échéant, compléter le dossier de demande d'autorisation ou d'approbation et ne préjugent pas de la décision qui sera prise à l'issue de la procédure d'instruction. » [15]

protégés en supposant que des échanges s'organiseront de manière naturelle entre ces aires protégées. Il est indispensable d'identifier et de rétablir une « infrastructure naturelle » fonctionnelle pour connecter ces réservoirs de biodiversité sur notre territoire.

C'est pourquoi la hiérarchisation puis la cartographie de ces corridors écologiques constitue l'élément essentiel pour la mise en place de futures mesures d'évitement ou d'atténuation des impacts.

L'annexe 2 présente les différents paramètres à intégrer lors d'une analyse géomatique. Ceux-ci conduisent à l'identification cartographique des enjeux fonctionnels de la zone étudiée (réservoirs de biodiversité, corridors, barrières, points de conflit). Les points ci-dessous présentent les spécificités des différentes étapes de la démarche.

Une analyse à différentes échelles spatiales et temporelles



L'écologie du paysage repose sur des échelles spatiales (régionale - 1/100 000e, locale - 1/5000e - voire plus fines selon les espèces considérées) et de temps (liés aux cycles de vies des espèces considérées) très variables (Figure 7). Elles permettent, en passant de l'une à l'autre, d'évaluer la perméabilité de ces infrastructures de transports. En d'autres termes, une identification des points de conflits entre processus écologiques et infrastructures engendrera :

- en ce qui concerne les projets de création, l'optimisation du positionnement des futurs ouvrages ;
- en ce qui concerne le réseau existant, une mise à niveau environnementale des ouvrages le nécessitant ou la création d'un nouveau passage pour rétablir une continuité coupée.

Figure 7 : schéma d'emboîtement multi-échelle des réseaux écologiques (Doc 2 Comop TVB) []
(demander droits)

Les échelles spatiales

L'objectif de la gestion d'un paysage dans un but de conservation et de restauration est de pouvoir accueillir des populations de taille suffisante pour être viables. Cette question de la taille minimale de l'espace à considérer est liée aux cycles de vies des espèces. L'écologie du paysage a donc développé des outils qui permettent de :

- déterminer l'échelle spatiale à laquelle répondent les différentes populations. Par exemple les espèces forestières de coléoptères carabiques répondent à des étendues spatiales plus faibles que celles de milieux ouverts. Ceci signifie que pour une meilleure conservation de ces espèces, les zones boisées doivent être connectées entre elles à une échelle fine,
- déterminer l'effet barrière ou filtre d'une infrastructure en fonction de sa largeur et de la mobilité des espèces considérées,
- identifier les réservoirs de biodiversité et les zones de connexion ([corridor](#) potentiel), à différentes échelles et en fonction des exigences écologiques des espèces. Les zones protégées ne sont pas isolées et le fonctionnement des populations dépend d'une part des connexions avec le paysage environnant et d'autre part, de la plus ou moins grande hostilité d'habitats adjacents.

Les échelles temporelles,

Les paysages évoluent sur des pas de temps plus ou moins long, au fil des saisons, des années, des perturbations naturelles / anthropiques et des changements climatiques / géologiques. Cette dimension doit par conséquent, être prise en compte dans la gestion spatiale des espèces :

- sur un pas de temps annuel, la connectivité du paysage dépend de l'état du couvert végétal, des espaces non connectés à une saison peuvent le devenir à une autre. C'est par exemple le cas pour des bosquets séparés par des cultures de maïs. Tant que le maïs n'a pas atteint sa croissance maximale les espèces forestières ne s'y déplacent pas de jour, mais dès que le couvert est suffisant elles peuvent utiliser cet espace pour aller d'un bois à un autre (remarque : des échanges existent cependant hors couvert végétal, il s'agit notamment des déplacements liés à l'aube et au crépuscule).
- sur un pas de temps pluriannuel, les perturbations naturelles (chablis, incendie,...) et/ou anthropique (exploitation forestière, évolution des pratiques agricoles, ...) modifient non seulement la qualité des habitats mais aussi la structure du paysage. Des espèces peuvent disparaître de la zone perturbée alors que d'autres apparaissent, soient à partir de la banque de graines (pour les espèces végétales), soit par colonisation à partir des espaces voisins.
- sur un pas de temps décennal ou centennal les modifications du climat et du milieu physique en général modifient la qualité des habitats et sont source de disparition d'espèces locales et de colonisation d'espèces venant d'habitats parfois lointains. C'est en partie dans cet objectif qu'a été conçu le réseau paneuropéen de corridors biologiques, qui devrait permettre aux espèces du Sud de l'Europe de remonter vers le Nord, dans le contexte actuel du réchauffement climatique. <http://agentdeterrain.espaces-naturels.fr/node/13> [A].

Cette méthode d'analyse écopaysagère s'appuie, comme nous l'avons évoqué auparavant sur divers documents et outils : bibliographies (études existantes), inventaires naturalistes et analyses statistiques, cartes, imageries diverses... L'intégration de l'ensemble de ses paramètres est bien plus qu'un fichier de données analytiques, il constitue un support raisonné, modulable et multiscalaire de visualisation d'un territoire d'étude. (cf. annexes 3 et 4).

Tableau 1 : éléments à prendre en compte pour l'analyse Ecologie du paysage aux différentes étapes d'un projet neuf d'infrastructure

Étapes projet d'infrastructure	Objet de l'étape	Écologie du paysage		Échelles de réflexion	
		Objectif	Outil	Aire d'étude	Recueil données
Étude d'opportunité (pré-études fonctionnelles)	Définition de l'opportunité de l'infrastructure et du mode de transport	Identifier, hiérarchiser les grands enjeux (réservoirs de biodiversité, corridors majeurs) Définir les grands ensembles non fragmentés	Réseaux écologiques nationaux et régionaux	Inter-régionale ou inter-départementale	Cartes TVB, Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) Protections réglementaires, inventaire, grandes entités géographiques et paysagères, occupation du sol
Études préalables (à l'enquête d'utilité publique)	Définition puis comparaison des fuseaux Parti général d'aménagement	Identifier, hiérarchiser les enjeux principaux (réservoirs de biodiversité, corridors)	Réseaux écologiques régionaux Analyse cartographique des zones nodales et liens fonctionnel Structures paysagères et liens fonctionnels entre habitats	Inter-départementale, départementale, unités paysagères traversées	Cartes TVB, SRCE Connaissances existantes (études, atlas et personnes ressources) Analyse de cartes/interprétation satellite
	Définition puis comparaison des variantes	Affiner les enjeux principaux, identifier et hiérarchiser les enjeux secondaires	Cartographie de la TVB affinée par des études environnementales Cheminements de la faune et principes de passages	Fuseau élargi	Données nécessaires à la cartographie de la TVB Interventions de terrain
	Tracé de référence Élaboration des principes d'aménagement	Élaborer les grands principes d'aménagement à prendre en compte Définir les mesures d'insertion générales	Reconstitution de corridors Intégrer les enjeux du réaménagement foncier	Tracé de référence a minima (selon étude)	
Finalisation du programme	Enquête d'utilité publique, Programme de l'opération, Engagements de l'État Avant projet				
Conception détaillée	Approfondissement des principes d'aménagement	Affiner les propositions Positionner les mesures	Validation de terrain des mesures d'accompagnement Mise à jour de l'état initial Mise en œuvre des outils de suivi	Tracé de référence a minima (selon étude)	Mise en place de partenariats gestion Acquisitions foncières Acquisitions de données de terrain complémentaires
Travaux	Consultation des entreprises Réalisation du projet	Respect des engagements Ajustements techniques des mesures Suivi et contrôle de chantier	Phasage des travaux préparatoires par rapport aux travaux infrastructure (déplacement d'espèces, reconstitution de milieux, ...)	Emprise du projet et zones de chantier	Observations complémentaires de terrain et adaptation des mesures
			Mesures temporaires : corridors provisoires, choix des dates chantier, ...		

Suivis et Bilans (1-5 ans après mise en service)	Bilan socio-économique et environnemental (LOTI)	S'assurer de l'efficacité des mesures prises	Évaluation de l'évolution du paysage Efficacité des mesures écologiques	Emprise du projet et zones proches	Données de terrain : inventaires, observations, enquêtes gestionnaires
Après mise en service	Gestion et entretien des ouvrages	Gestion et entretien des mesures	Pratiques de gestion/entretien cohérentes avec les mesures mise en place		Données de conception des mesures, évolution de l'aménagement du territoire
	Mise à niveau (requalification environnementale) Réalisation de travaux	Mise à niveau (requalification environnementale) Réalisation de travaux	Diagnostic du réseau existant si ancien Programme de requalification environnementale		Caractéristiques du réseau Caractéristiques des espaces traversés

Cartographie des « continuum écologiques »

A partir de cette analyse spatio-temporelle, la cartographie d'un continuum constitue la première étape de la cartographie du réseau écologique du territoire d'étude. Les figures ci-dessous illustrent de façon schématique ce concept (figure 7 et 8). L'analyse de la structure d'un continuum est un élément important dans la compréhension du fonctionnement d'une structure paysagère. La façon dont le continuum occupe le territoire (son morcellement, sa densité, la distance entre chacune des tâches) permet de jauger de son bon état de conservation (fonctionnalité préservée). Le cas échéant (fragmentation avérée), l'utilisation des outils propres à « l'écologie du paysage » permettent de restaurer ces continuités en identifiant les corridors écologiques potentiels.

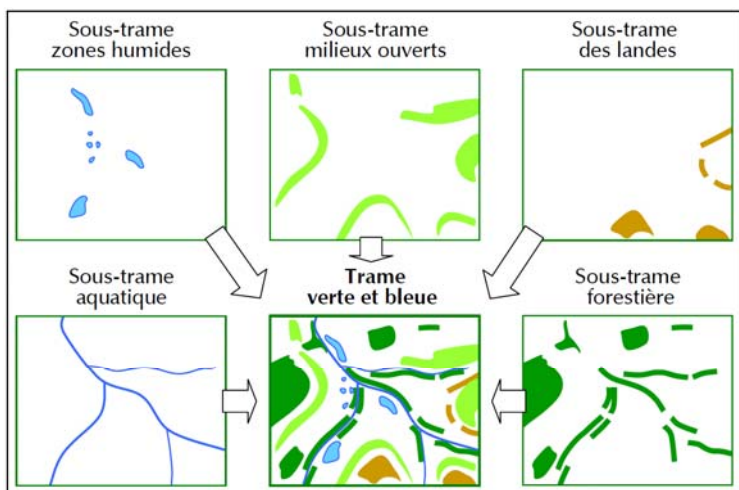
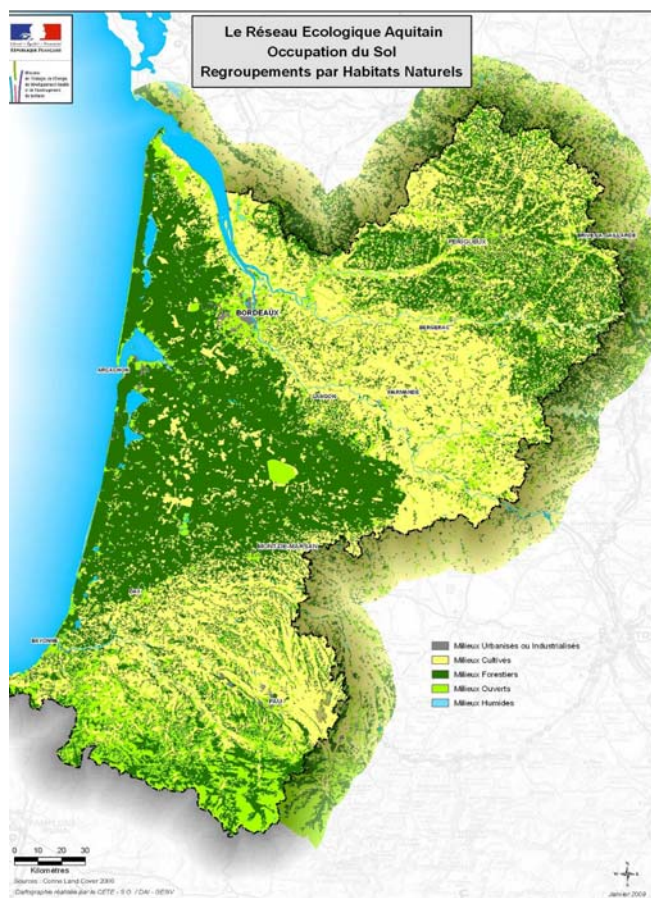


Figure 7 : la trame verte et bleue, un ensemble de continuum (sous-trames) écologiques spécifiques – Source : COMOP TVB

Figure 8 : le réseau écologique Aquitain : occupation du sol - regroupement par continuum – Source :: CETE Sud-Ouest



Modélisation des déplacements des espèces et cartographie des corridors

La détermination des corridors écologiques, assurant la connectivité et la fonctionnalité d'un continuum (analyse structurelle), couplée à la modélisation des déplacements des espèces dans ces « *continuum* » (analyse fonctionnelle) constitue l'étape suivante de la démarche. Un certain nombre d'outils géomatiques permet de révéler les corridors potentiels des zones étudiées. Cette méthodologie est indissociable de l'analyse des déplacements d'espèces (vérification sur le terrain) car elle délimite et décrit les espaces qui sous-tendent ces flux de déplacements.

Les études du fonctionnement écologique des paysages montrent que l'organisation des éléments d'un paysage conditionne la distribution spatiale des populations. La connectivité spatiale décrit le milieu et tient compte des liens structuraux entre les taches d'habitats (distances entre fragments, densité des connexions, organisation spatiale) indépendamment des espèces qui y vivent. La connectivité biologique prend en compte le comportement des espèces, notamment les flux entre populations. Alors que la connectivité spatiale est abordable par lecture cartographique ou photographique, la connexion biologique ne peut être définie qu'avec la connaissance écologique de l'espèce (démographie, déplacements) et de ses relations à l'habitat étudié. Même si les données font encore défaut sur les modalités de diffusion de certaines espèces sur un territoire donné, on peut rattacher un type de corridor à la plupart des espèces existantes [2].

Toute espèce présente vis-à-vis du milieu des exigences écologiques précises et particulières, qui définissent son habitat : le type de milieu où elle peut se maintenir durablement. Au cours de leur cycle de vie, de façon journalière ou au rythme des saisons, ces espèces ou communauté d'espèces doivent se déplacer pour répondre à leurs besoins (nutrition, reproduction, colonisation, etc.). Elles utilisent pour cela les éléments structurants (habitats) qui composent le paysage.

La modélisation de ces déplacements répond à quelques grands principes de l'écologie :

- les exigences écologiques sont variables d'une espèce à l'autre, c'est pourquoi un regroupement d'espèces inféodées à un certain type de milieux (continuum) s'avère nécessaire ; la capacité à se mouvoir dépend de leurs adaptabilités aux milieux traversés. Il est donc possible de définir des cortèges d'espèces représentatifs d'un continuum donné (tableau 2). Par ailleurs, si un projet avec des enjeux faunistiques particuliers justifie une cartographie plus fine, des espèces ayant un potentiel de déplacement moindre ou plus spécifique pourront être également ciblées et étudiées.

Continuum	Espèces représentatives
Forestiers (boisements)	Cerf, Chevreuil, Sanglier, Martre
Zones agricoles extensives et lisières	Lièvre, Perdrix, mustélidés, hérisson, ...mais aussi chevreuil et sanglier
Pelouses sèches	Orthoptères (sauterelle, criquet) reptiles (lézards, ...)
Aquatiques / semi-aquatiques / humides (cours d'eau, plan d'eau, zones humides)	Odonates, Avifaune et reptile, mustélidés semi-aquatiques, Faune piscicole migratrice, Amphibiens

Tableau 2 : continuum et espèces représentatives, exemples

- les déplacements répondent généralement à la loi du « moindre effort », la survie de l'animal étant optimisée par un coût de déplacement faible. Ceci dépend donc de la distance qui sépare des formes d'occupations du sol identiques (ou utilisables temporairement par l'espèce) et de la facilité à pouvoir les joindre. Les milieux naturels ainsi décrits sont classés en fonction de leur perméabilité et de leur potentiel d'accueil pour un cortège d'espèces. Un coefficient de rugosité est affecté à chaque milieu en fonction de son attractivité pour l'espèce. A titre d'exemple, la résistance à la capacité de déplacement d'un chevreuil sera nulle en zone forestière (milieu structurant / réservoir de populations), faible dans une prairie (milieu favorable à la présence de l'espèce), forte dans des zones d'agricultures intensives et totale dans des zones urbanisées (milieu répulsif).

Ces espèces caractéristiques et les réflexions sur les potentialités de déplacements qui en découlent, jouent un rôle essentiel dans l'identification et la cartographie des corridors écologiques. Grâce aux systèmes d'information géographique, il est possible de déterminer et de hiérarchiser (en fonction de leur importance dans la participation à un continuum) les milieux potentiellement accessibles pour un cortège d'espèces depuis son réservoir de biodiversité (zone nodale). Par conséquent, la cartographie des corridors écologiques potentiels intègre également un facteur de pérennité. En effet, un corridor sera privilégié dans la mesure où la stabilité et la pérennité des réservoirs de biodiversité qui l'entoure est avérée. La valeur écologique de ces sites étant, par exemple, garantie dans le temps et dans l'espace par la présence d'une zone bénéficiant d'une protection réglementaire (réserves naturelles, arrêté de protection de biotopes...), contractuelle (Natura 2000, Parc naturels régionaux...) ou foncière (espaces naturels sensibles, ...).

Identification des points de conflits

La fragmentation des habitats, définie comme étant un double phénomène de diminution de la surface d'habitat disponible (ou du domaine vital) et d'augmentation de l'isolement des fragments[11], ne représente pas forcément un obstacle² pour toutes les espèces. Elle peut, dans certains cas, constituer un couloir de dispersion pour d'autres espèces. C'est notamment le cas des végétaux, peu abordés dans cette note.

Les obstacles aux déplacements des espèces sont ensuite croisés avec la cartographie des corridors potentiels, rendant possible l'analyse de leur fonctionnalité (figure 9). Les mesures de réduction des impacts, telles que l'aménagement de passages à faune, peuvent s'avérer insuffisantes au maintien de la porosité de l'infrastructure. C'est pourquoi une hiérarchisation dans le choix des rétablissements des connexions biologiques doit être établie. Celle-ci est fonction, d'une part, de l'importance écologique des zones déconnectées, et d'autre part, de l'intensité de l'effet barrière dû aux aménagements structurants le territoire.

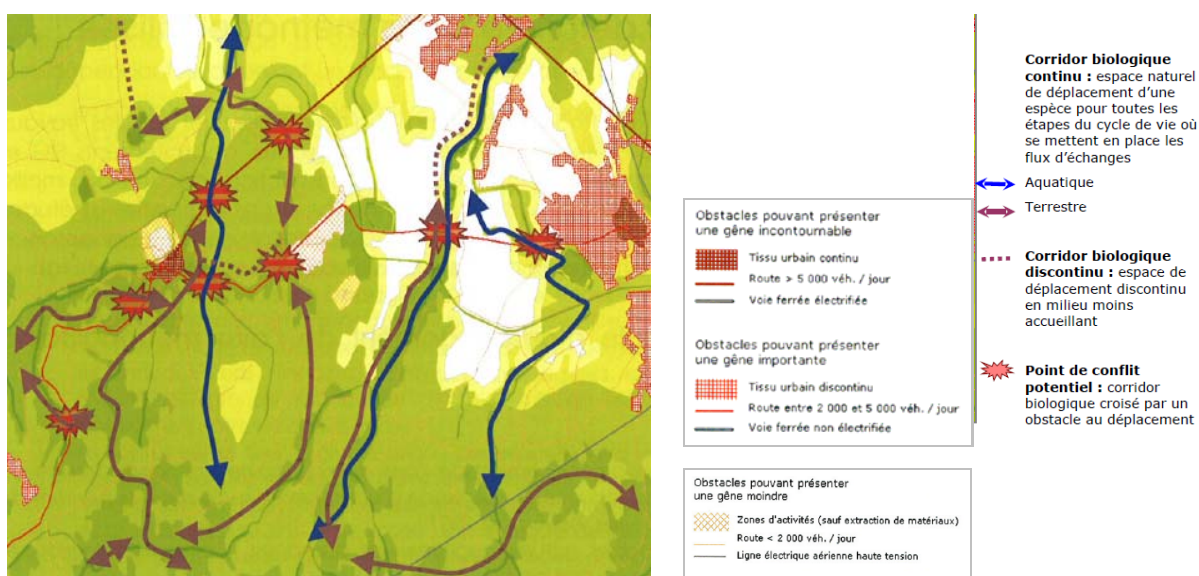


Figure 9 : Identification des zones de conflits entre corridors (voies de déplacements des espèces) et infrastructures (routes, expansion urbaine...) – Source : DIREN Rhône-Alpes [4]

Les limites de l'analyse et les précautions à prendre lors de l'utilisation des données

L'écologie du paysage permet de mieux appréhender la répartition, l'arrangement et la complexité des différents éléments du paysage dans l'espace et dans le temps. Malgré les avantages incontestés de l'utilisation d'un système d'information géographique (conservation facilitée des données, interactivité, potentialités de traitements et d'analyses...), cet outil a cependant certaines limites :

- Défaut de disponibilité et d'homogénéité des bases de données sur de larges secteurs d'études (pertinence de l'échelle de résolution). En effet, compte tenu du niveau de précision variable des données, le transfert des informations d'une échelle à l'autre n'est pas toujours évident,
- 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 (échelle de travail, taille de la fenêtre de calcul, temps de calculs, l'interprétation nécessaire a posteriori...),

² Sur une route ou la densité de circulation avoisine les 5000 véhicules par jour ne représente pas un obstacle infranchissable pour une population de grands cervidés, en revanche pour une population d'amphibiens; celle-ci constitue une barrière à la reproduction et donc à terme à la survie de l'espèce.

- Dans le cadre d'une analyse globale, abstraction des caractéristiques liées aux différentes populations dépendantes de ce réseau écologique : seuil des aires vitales, seuils de population...

Ainsi, pour être réellement pertinente, l'écologie du paysage doit prendre en compte les besoins des espèces liées à un habitat donné [5]. Les données bibliographiques ne suffisant pas à caractériser le fonctionnement écologique d'un territoire, ce type de démarche ne dispense donc pas les aménageurs, d'études naturalistes plus précises à l'échelle du territoire concerné par l'infrastructure.

Conclusion

La spécialisation des territoires, le développement des échanges commerciaux et le développement urbain s'accompagnent d'une intensification des niveaux de trafic et conduisent souvent à l'élargissement des voies de communication existantes et à la construction de nouveaux tronçons routiers ou ferroviaires. L'augmentation du trafic et la densification du réseau de transport contribuent au morcellement de tous les espaces, et en particulier des espaces naturels et semi-naturels. Cette artificialisation rend par conséquent, vulnérable les habitats et les espèces qui interagissent d'une manière ou d'une autre avec ces infrastructures.

L'écologie du paysage apporte des éléments pertinents d'appui à la concertation et d'aide à la décision en prenant en compte la dimension dynamique d'un territoire et ce, au-delà de la seule protection des espaces naturels et des paysages remarquables. Par les outils mobilisés, elle permet d'agir localement, tout en s'inscrivant à moyen et long terme, dans une réflexion d'aménagement intégré des territoires. Dans ce contexte, il est aujourd'hui difficile de se contenter d'une approche passive du territoire, il convient donc de planifier son usage, de l'organiser, de l'aménager et de le gérer suivant les besoins, d'une part, et les principes qui en assureront l'utilisation durable, d'autre part.

Ainsi, dans le cadre d'une création d'infrastructure de transport ou de la requalification environnementale d'un réseau existant, cette démarche scientifique et interdisciplinaire permet de mieux appréhender les effets induits par l'infrastructure et d'y remédier. L'enjeu de cette note est de proposer une démarche permettant de minimiser les impacts de la fragmentation du territoire en maintenant et en rétablissant des continuités entre les habitats, supports des déplacements d'espèces. Afin d'optimiser l'efficacité de cette mise en cohérence, les gestionnaires et concepteurs d'infrastructures de transports pourront utiliser l'ensemble des outils en leur possession pour remailler écologiquement le territoire et rendre leur fonctionnalité aux habitats.

Annexes

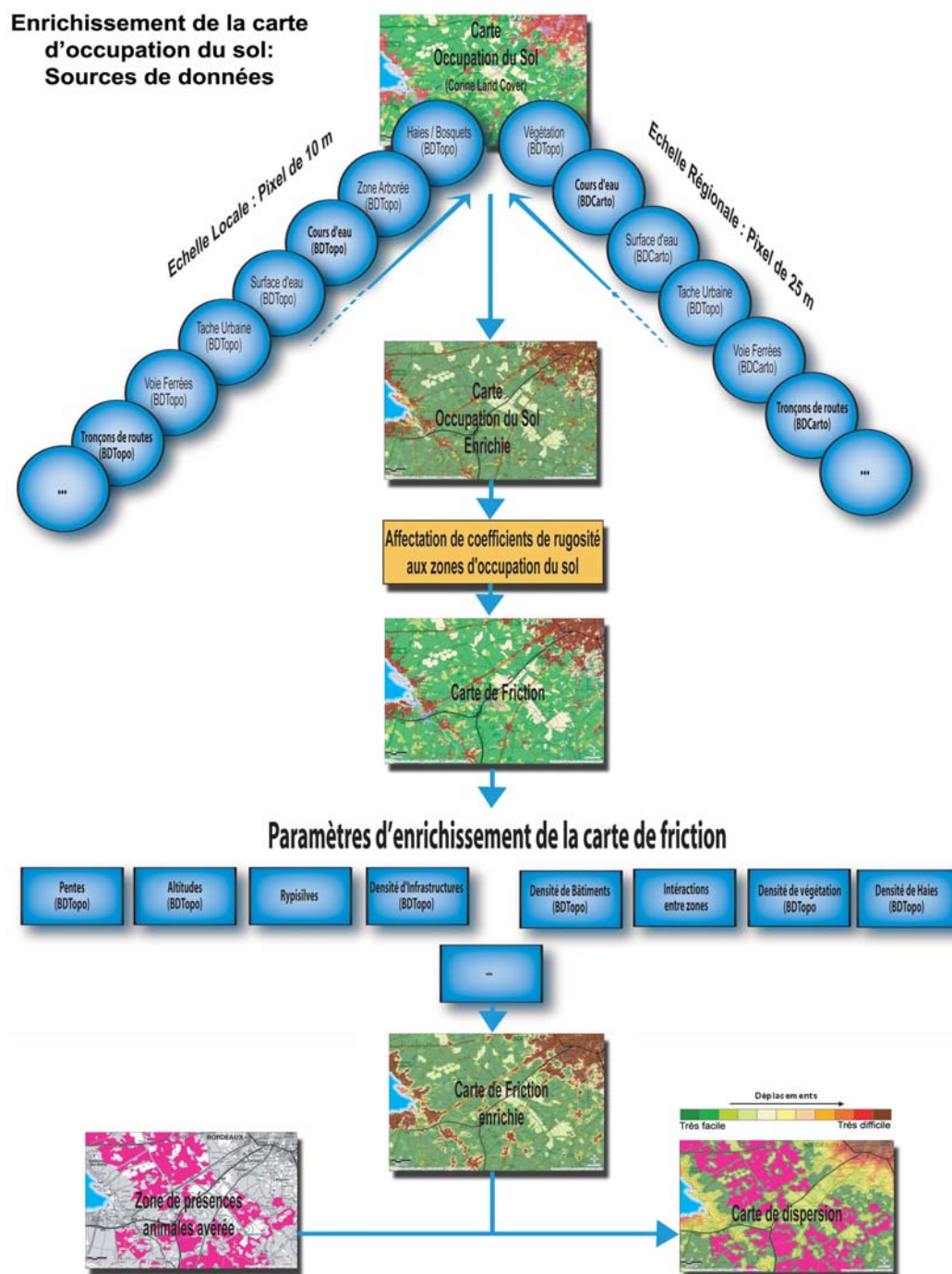
Annexe 1 : exemple de données locales à recueillir

Type de donnée	Utilisations possibles	Limites	Appellation	Source
Inventaire biophysique de l'occupation du sol	Caractérisation de l'occupation du sol à l'échelle d'une région, d'un département.	Imprécision de la donnée à échelle plus grande, l'unité minimale étant de 25ha. Besoin d'enrichissement des données à grande échelle.	Corine Land Cover®	MEEDDM Observations et Statistiques de l'Environnement
Données cartographiques locales d'occupation du sol	Données plus fines et souvent plus récentes d'occupation du sol surtout pour la partie urbaine	Limite de précision et méthodologies cartographiques hétérogènes d'un territoire à l'autre	Occupation du sol	Certains services départementaux voire régionaux
Voies de communications routières Voies ferrées et autres moyens de transports terrestres Transports d'énergie et de fluide (lignes RTE, pipe lines) Surfaces d'activités et de bâti Végétation (forêts, haies) Limites administratives Relief (MNT*) Réseau hydrographique *MNT : Modèle Numérique Terrestre	<p>- Réalisation d'un référentiel d'occupation du sol assez précis (1/5000) pour la réalisation de traitements informatiques nécessaires à l'identification des différents « continuum ». Précision métrique.</p> <p>- Réalisation d'outils, utiles :</p> <p>A la détermination de l'implantation de la route (déblais ou remblais). De manière à identifier si la configuration de l'infrastructure est un facteur qui favorise (ou non) le déplacement de la faune ;</p> <p>A la localisation des secteurs à forte pente et les coefficients de rugosité associés ;</p> <p>A la représentation du réseau de vallées ;</p> <p>- Après de nombreux traitements de la couche végétation (donnée surfacique) pour en extraire les éléments linéaires, une approche du réseau bocager peut être envisagée avec par exemple la détermination : du réseau bocager continu et discontinu ; de la densité du maillage bocager ;</p> <p>- La couche « surfaces d'activités et bâti » permettra quant à elle de mettre en évidence les éléments du bâti qui représentent autant de freins à la dispersion des espèces.</p> <p>- Permet d'identifier les éléments de la trame bleue par l'intermédiaire de la couche réseau hydrographique.</p> <p>- Permet d'identifier les éléments de fragmentation des habitats naturels (routes, canaux, lignes électriques (défrichage)...).</p>	<p>Hétérogénéité des données contenues dans cette base.</p> <p>Temps de traitement important de la masse de données disponibles.</p> <p>Pas de données sur le transport de gaz (coupure par défrichage comme lignes RTE ou pipe-lines)</p>	Bd Topo®	Institut Géographique National -IGN-
Réseau hydrographique Réseau routier	<p>Echelle d'utilisation 1/50000</p> <p>Par jointure de fichiers, il est possible de récupérer les classes de largeurs des cours d'eau et des infrastructures de transports, données utiles dans une étude trame verte et bleue</p>	<p>Il ne s'agit pas de largeurs réels de voies (d'eau ou routières) mais de classes.</p> <p>Précision décimétrique</p>	Bd Carto®	Institut Géographique National -IGN-
Mosaïque d'images numériques projetées (orthophotographies)	<p>Echelle d'utilisation : 1/2500</p> <p>Analyse de l'occupation du sol et des structures paysagères à grande échelle.</p>	<p>Ne sont que des images à possibilités de traitements limités.</p> <p>Dates de prise de vue.</p>	Bd Ortho®	Institut Géographique National -IGN-
Base de données altimétriques décrivant le relief	<p>Modèle Numérique de Terrain et produits dérivés (courbes de niveau, pentes,...)</p> <p>Usage adapté à des échelles inférieures à 1 :50 000 sur un territoire présentant un relief significatif</p>	<p>Précision variable en fonction du relief (de ? 5 à 20m)</p>	Bd Alti®	Institut Géographique National -IGN-

Base de Données sur la Cartographie Thématique des Agences de l'Eau et du MEEDDM	La géométrie est celle de BDCARTO® : ajout d'une codification hydrographique sur les tronçons de cours d'eau	Précision décimétrique	Bd Carthage®	Institut Géographique National -IGN-et MEEDDM
Inventaire des passages à faunes (ouvrages d'art de plus de 2m d'ouverture)	Localiser les éléments de défragmentation des habitats liés aux infrastructures routières nationales.	Incertitudes liées à l'utilisation effective des passages à faune.	Passages à faune	Actualisation du recensement des passages à faune – SETRA
Base de données des routes principales issues de la Bd Carto®	500 000 km de routes principales du territoire national (Autoroutes, RN et RD voire quelques routes locales), décliné pour chaque région. Possibilité de classement selon plusieurs attributs (vocation, administratif, nb voies,...)	Ne donne pas les routes locales	Route 500®	IGN
Espaces naturels réglementés ou inventoriés	La description des zones et la liste des espèces permettent d'avoir une idée assez précise de la biodiversité en présence.	Absence de tableau récapitulatif.	Milieux naturels	Sites Internet des DREAL de chaque Région
Données de répartition nationale des espèces animales et végétales	Données de présence absence par commune, couvrant tout le territoire national avec parfois des données de densité. Données accessibles par internet, consolidées avec fiche descriptive de l'espèce (réglementaire, ...)	Données souvent hétérogènes et assez peu précises, hétérogènes selon les espèces.	Faune flore	INPN (MNHN)
Données de répartition et densité d'oiseaux	Données à la demande, de présence et de densité d'espèces d'oiseaux, relevées par écoute et observation sur des aires témoins, sur tout le territoire national. Données consolidées.	Couverture du territoire pas encore homogène	STOC	CRBPO (MNHN)
Recensement d'espèces par observations, données cartographiques et autres	Données souvent solides de localisation des espèces végétales et animales	Données souvent payantes et parfois non accessibles ou fournies imprécises selon la sensibilité pour l'association du projet traité	Faune flore	Associations naturalistes locales
Base de données du réseau de gaz du distributeur local	Réseau de transport de gaz avec ou non description du débit qui conditionne la taille du défrichage au droit du collecteur	Données pas toujours finement renseignée et hétérogène	Réseau transport de Gaz	Cie distributrices de gaz
Cartographie des types de formation végétale	Nomenclature en 4 niveaux : le niveau I correspond désormais à la couche végétation de BDTOPO®	Les données ne sont pas actuellement disponibles sur tous les départements	Carte forestière	IFN
Parcellaire agricole	Descriptif général du contenu des îlots (contenant plusieurs parcelles issues de données déclarées par l'exploitant agricole pour le dossier PAC	Pas d'information à la parcelle	Registre Parcellaire Agricole	AUP
Parcellaire foncier	Descriptif du parcellaire foncier et de son usage. Mise à jour au moins annuelle. Possible de fabriquer une tache urbaine en complément de la Bd Topo	Traitement lourd, à utiliser à une échelle locale	Fichiers fonciers MAJIC	DGFIP
Base de données de l'inventaire des sols (programme IGCS)	Descriptif de la typologie des horizons superficiels du sol	1/100 000 ponctuellement 1/50 000. Pas disponible sur tout le territoire	Carte pédologique	INRA / GISSol
Base de données de la qualité des sols (programme RMQS)	Description de la qualité agronomique et physique du sol. Maille de 16 km / 16 km	1/100 000 ponctuellement 1/50 000. Pas sur tout le territoire et pas encore disponible	Carte de la qualité des sols	INRA / GISSol
Cartographie du sous-sol avec description des formations géologiques	Descriptif du sous-sol et des différentes couches géologiques avec des coupes. Données synthétiques couvrant tout le territoire national	1/50 000	Carte géologique	BRGM
Base de données issues d'image satellite pour traitement ultérieur	Données dans le spectre visible au proche infrarouge pouvant subir un traitement par logiciel pour révéler les zones humides, typologie des cultures, typologie forestières... Données disponibles en quelques semaines. Complémentaires des données géographiques Sociétés Landsat, Spot Image, Quick Bird et Pléiade	Nécessite une forte spécialisation et des logiciels pointus, coûts parfois (mais pas toujours) très élevés	Données satellitaires	Landsat, Spot Image, Quick Bird et Pléiade (2011)

	(2011) (respectivement de la plus basse à la plus haute résolution)			
Recensement local des collisions	Détermination des principaux axes de passage des petits, moyens et grands animaux et des principaux points de conflits.	Non exhaustivité de la donnée.	Collisions	Centres d'exploitation routiers Gendarmerie
Données de trafic routier sur le réseau routier national et autoroutier	Données de trafic sur le réseau routier national et autoroutier. Données nationales homogènes : SIREDO (SETRA)	Ne comprend pas le réseau routier départemental	SIREDO	SETRA, DIRs, sociétés autoroutières
Données locales géo-référencées de trafic sur les RD	Permet d'attribuer à une infrastructure routière un coefficient de rugosité différencié en fonction du trafic	les VC généralement non informées, hétérogénéité des méthodes de comptage	Trafic routier	services des conseils départementaux
Données cartographiques de la Trame Verte et Bleue locale : en région, département, SCOT, PLU	Cartes à prendre en compte à l'échelle d'un projet. Peut être très précise	Forte hétérogénéité des méthodes et données employées pour l'élaboration des cartes. Pas disponible partout avant 2012 en régions.	TVB territoriale	Service de Conseils Régionaux voire départementaux ou SCOT, PLU

Annexe 2 : étapes d'analyse SIG des « continuum » écologiques

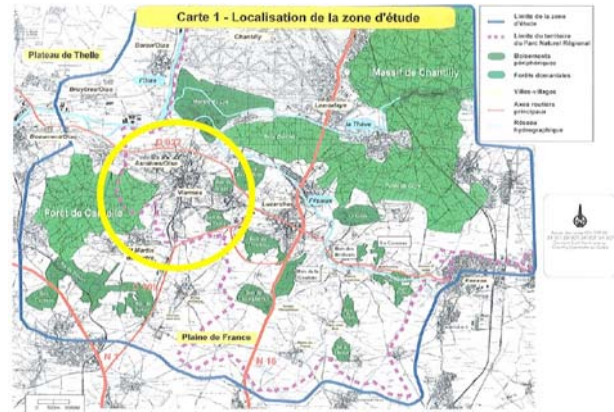


Étapes d'analyse SIG des « continuum » et des trames écologiques à partir de cartes d'occupation du sol – CETE Sud Ouest

Commentaires : Selon la population animale étudiée et les structures du paysage présentes, on identifie pour chaque espèce sa capacité à traverser les différents types de structure de la zone d'étude (affectation de coefficients de rugosité). On obtient alors une carte de friction (ou de rugosité) qui traduit les possibilités de déplacement de la population ou de l'espèce (facilement à difficilement). Complétée par la suite avec d'autres paramètres hiérarchisés (données agricoles, végétation, rypisylve, haies, etc.) en fonction de l'espèce modélisée, on obtient une carte de friction enrichie. Enfin, l'intégration et le croisement des zones d'urbanisation au modèle, permet d'obtenir une carte de dispersion de la population étudiée, sur laquelle il est possible de s'appuyer pour l'identification des enjeux de fonctionnalités écologiques.

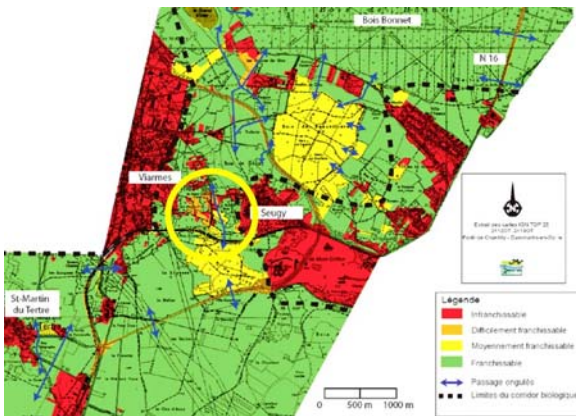
Annexe 3 : illustration d'analyse multi-échelle

L'analyse multi-échelles permet **une approche de plus en plus fine des connectivités écologiques d'un territoire** donné. Le cas présenté ci-dessous en est une illustration (Source PNR Oise Pays de France) [demander droits ?].

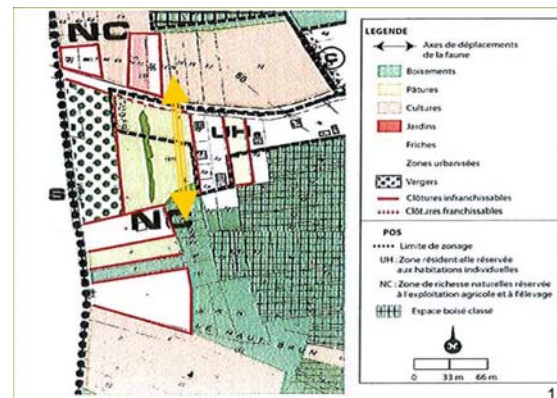


Analyse du corridor inter-forestier Chantilly/Carnelle

Identification des principaux corridors inter-forestiers du PNR



Hiérarchisation des niveaux de perméabilité à l'échelle pluri-communale



Diagnostic des corridors affiné à l'échelle parcellaire

Commentaires : pour répondre à l'un des objectifs de sa charte (« *préserver, reconquérir et gérer les continuités écologiques majeures* »), le Parc Naturel Régional d'Oise Pays-de-France, a réalisé un diagnostic à différentes échelles des corridors écologiques de son territoire. Cette démarche repose sur :

L'identification des principaux corridors inter-forestiers du PNR ;

La définition, à l'échelle pluri-communale, de l'occupation du sol et des usages du territoire. Une hiérarchisation des niveaux de perméabilité des territoires a été établie, notamment pour la grande faune. Cette étape permet entre autres de localiser les points de conflits entre circulation routière et déplacements de la faune terrestre ;

L'analyse des documents d'urbanisme (PLU, Scot) pour la compréhension des potentialités de circulation de la faune au regard de l'occupation de sol.

Par son approche multi-scalaire, notamment à l'échelle des documents d'urbanismes communaux, ce diagnostic constitue un élément fondamental dans la remise en réseau écologique des territoires .

Annexe 4 : Illustration de l'analyse prospective des populations et de leurs habitats

La cartographie diachronique appliquée à la répartition des structures de paysage favorables à une espèce permet une approche de l'évolution des corridors au sein d'un territoire. Elle fournit des informations facilement accessibles par simple analyse visuelle.

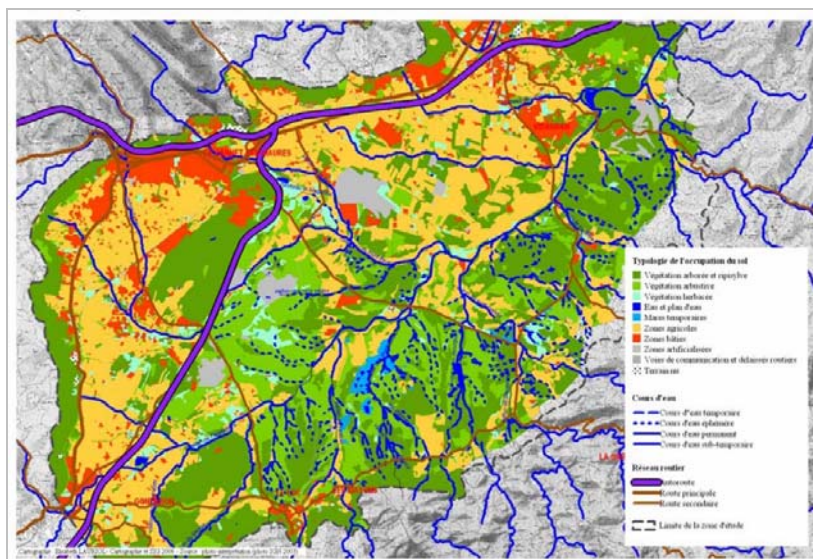
L'objectif est de comparer, à pas de temps différents, l'évolution des structures paysagères. Cette approche permet de **mettre en relation le fractionnement des territoires avec la réduction des populations de l'espèce considérée**. Les données d'occupation du sol permettent de créer des cartes des zones favorables à une espèce ou un groupe d'espèces de référence. Cette analyse peut être réalisée à rebours (connaître l'occupation du sol et en étudier son évolution jusqu'à nos jours : approche rétrospective) ou de manière prospective (prévoir l'évolution du paysage et en comprendre son implication pour une espèce).

Les cartes ci-contre illustrent l'analyse prospective de l'évolution des corridors au sein d'un territoire donné (la plaine des Maures) – Source DREAL Paca (demander droits).

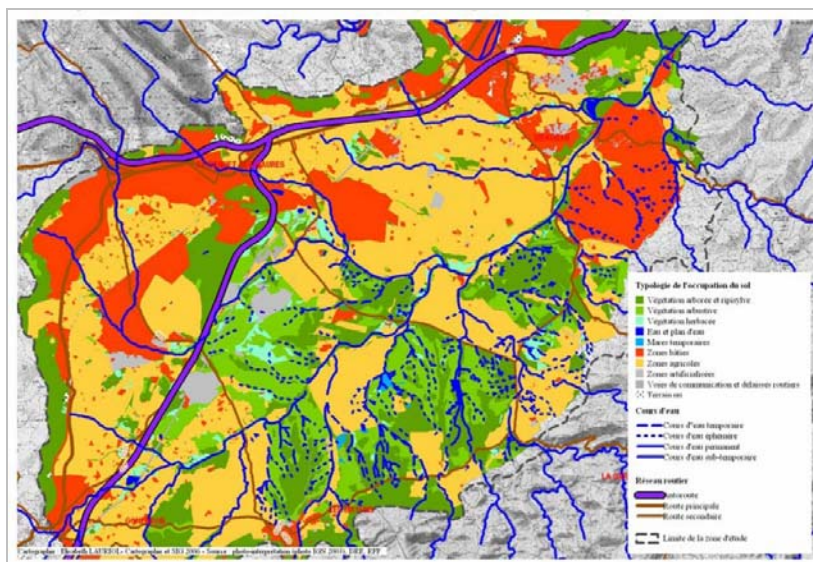
Après avoir établi un état des lieux écologique du territoire d'études (par regroupement des habitats naturels), une projection de l'état futur est élaborée en intégrant les projets d'aménagement du territoire (infrastructures diverses, urbanisation, évolution des pratiques agricoles...).

Ainsi, comme le révèle la cartographie ci-contre, la projection à l'horizon 2020 de tous les projets et aménagements prévus dans les documents d'urbanisme, met en évidence l'augmentation de la fragmentation des milieux et leur artificialisation.

Cette démarche, propre aux différents types d'habitats et à leurs espèces inféodées, permet de juger de l'opportunité d'un projet au regard de ces impacts en terme de fragmentation des milieux.



Occupation du sol en 2003



Occupation du sol théorique de la plaine des Maures à l'horizon 2020

Bibliographie

- [1] BUREL, F. et BAUDRY, J., 1999 - Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Tec et Doc (Eds).
- [2] CLERGEAU, P. ET DÉSIRÉ, G., 1999 - Biodiversité, paysages et aménagement : du corridor à la zone de connexion biologique. Mappemonde n°55 (1999.3), 19-23.
- [3] DAJOZ R., 2003 - Précis d'écologie, 7ème édition, DUNOD (eds), Sciences sup (collection), p. 393-432.
- [4] DIREN RHÔNE-ALPES, 2005 - Infrastructures vertes et bleues, Guide méthodologique Utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'expression des enjeux de l'État dans le cadre d'un ScoT, Application au territoire du Schéma de Cohérence Territoriale Sud-Loire.
http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr/include/publi/pdf/IVB_GuideMethod.pdf
- [5] GERBEAUD MAULIN F., 2008 – La fragmentation des milieux naturels, État de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels, DREAL PACA.
- [6] HANSKI I., 1991 - Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. Biol. J.Lin.Soc., 42, p.3-16.
- [7] LEVINS,R., 1969 - Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bull. Ent. Soc. Amer., 15, p. 77-107. American mathematical society, Providence.
- [8] LUELL, B., BEKKER, G.J., CUPERUS, R., DUFEK, J., FRY, G., HICKS, C., HLAVÁČ, V., KELLER, V., B., ROSELL, C., SANGWINE, T., TØRSLØV, N., WANDALL, B. LE MAIRE, (Eds.), 2003. Wildlife and Traffic : A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. (Traduction française : Sétra, 2007. Faune et trafic. Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions. Réf 0527)
- [9] Sétra, 2000 - Fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transports. Rapport de la France. COST Transport - Action 341.
- [10] Sétra, 2005 - Aménagements et mesures pour la petite faune. Guide technique réf 0527.
- [11] Sétra, 2007 - Biodiversité et infrastructures de transports terrestres. Note d'information n°79 - série Économie, Environnement, Conception, réf 0747w.
- [12] Directive du Conseil européen n° 85/337/CE du 27 juin 1985 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement modifiée par la directive n°97/11/CE du 3 mars 1997.
- [13] Décret n° 2000-258 du 20 mars 2000 modifiant le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris en application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.
- [14] Décret n° 2003-767 du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 sur les études d'impact pris en application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et le décret n° 85-453 du 21 avril 1985 pris pour l'application de la loi du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement.
- [15] Articles L 123-1 et suivants du Code de l'environnement et décret 85-453 du 23 avril 1985

Site Internet :

- [A] <http://agentdeterrain.espaces-naturels.fr/mode/13>

Atelier technique des Espaces Naturels - Écologie du paysage : échanges entre éléments de la mosaïque paysagère.

Pour en savoir plus :

DIREN RHÔNE- ALPES, 2007 - Infrastructures vertes et bleues, Guide technique - Version 2 - Utilisation d'un Système d'Information Géographique pour l'expression des enjeux de l'État dans le cadre d'un Scot, Application au territoire du Schéma de Cohérence territoriale Fier-Aravis.

http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr/include/publi/pdf/IVB_GuideTech.pdf

MEEDDM., 2009 – Trame verte et Bleue, Orientations nationales pour la préservation et la restauration des continuités écologiques, guides 1, 2, 3 :

Guide 1 - Enjeux et principes de la Trame verte et Bleue - Choix stratégiques de nature à contribuer à la préservation et à la restauration des continuités écologiques.

Guide 2 - Appui méthodologique à l'élaboration régional de la Trame Verte et Bleue, Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la restauration des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique.

Guide 3 - Prise en compte de la Trame verte et bleue dans les infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France.

Glossaire

Biodiversité : la diversité biologique représente la variété et la variabilité biologique des organismes vivants et des écosystèmes dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Continuités écologiques : éléments du maillage d'espaces ou de milieux constitutifs d'un réseau écologique. Au titre des dispositions des articles L.371-1 et suivants du Code de l'environnement, et par la même du présent guide, cette expression correspond à l'ensemble « réservoirs de biodiversité » et « corridors écologiques » et les cours d'eau.

Continuum : ensemble constitué des grands milieux écologiques (forestier, humide, etc.) qui forment des zones nodales (réservoirs de biodiversité), de milieux complémentaires et du réseau de connectivité entre ces zones nodales, constituant un réseau continu sans interruption physique. On distingue divers types de « *continuum* » propres à des groupes écologiques ou à une espèce particulière. La combinaison des différents « *continuum* » existants forme la base d'un réseau écologique régional ou national.

Corridor écologique : il s'agit des voies de déplacement emprunté par la faune et la flore, qui relie les réservoirs de biodiversité. Cette liaison fonctionnelle entre écosystèmes ou habitats d'une espèce permet sa dispersion et sa migration. On les classe généralement en trois types principaux :

- structures linéaires : haies, chemins et bords de chemins, ripisylves, etc. ;
- structures en « pas japonais » : ponctuation d'espaces-relais ou d'îlots-refuges, mares, bosquets, etc. ;
- matrices paysagères : type de milieu paysager, artificialisé, agricole, etc.

Les cours d'eau constituent à la fois des réservoirs de biodiversité et des corridors auxquels s'appliquent déjà, à la fois des règles de protection en tant que milieux naturels et des obligations de restauration de la continuité écologique.

Diversité : la mesure de la diversité prend en compte le nombre d'objets (éléments de paysage, espèces), et aussi leur abondance relative.

Écologie du Paysage : L'*écologie du paysage* appréhende sur un niveau d'organisation large (échelle du paysage) et permet d'étudier comment la structure et la dynamique des paysages hétérogènes influent sur les phénomènes écologiques.

Écosystème : ensemble des êtres vivants, faune et flore, d'un même milieu (biocénose) et des éléments non vivants, climat, sol, etc. (biotope) qui leur sont liés de manière vitale.

Flux ou mouvement : désigne tout type de déplacement d'une espèce.

Fragmentation des habitats : processus dynamique de réduction de la superficie d'un habitat et sa séparation en plusieurs fragments. L'urbanisation, l'agriculture ou les infrastructures constituent des barrières qui limitent ou interdisent le déplacement normal et nécessaire des espèces, des individus, et des gènes au sein de leur aire normale de répartition, au point de provoquer leur régression ou disparition.

Géomatique : ensemble des outils et méthodes permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques. La géomatique consiste donc en au moins trois activités distinctes : collecte, traitement et diffusion des données géographiques. La géomatique est étroitement liée à l'information géographique qui est la représentation d'un objet ou d'un phénomène localisé dans l'espace.

Habitat : lieu de vie privilégié d'une espèce sauvage et par extension tout écosystème naturel.

Matrice : cf. réseau écologique.

Population : ensemble des individus d'une même espèce présents dans un espace géographique donné pouvant librement échanger leurs gènes. Une population peut être subdivisée en plusieurs entités équivalentes séparées géographiquement (noyaux), l'ensemble formant une métapopulation.

Réseau écologique : réseau fonctionnel des habitats et corridors qui permettent la circulation des espèces et, lorsqu'ils sont en bon état, le maintien de la biodiversité.

Éléments de base d'un réseau écologique :

La **matrice** : élément de base sur lequel se répartissent des éléments plus fins ou ponctuels ;

Les **zones nodales** ou **réservoir de biodiversité** : structures paysagères ponctuelles incluses dans la matrice, correspondant souvent à des « éléments spécifiques » ou « repères » des paysages. Elles constituent le lieu de vie privilégié d'un groupe d'espèces et peuvent parfois s'étendre en zone de développement plus ou moins dégradée ;

Les **corridors écologiques** : ce sont des éléments linéaires, plus ou moins étroits, reliant les zones nodales (ou taches) entre elles. Ces espaces de liaison biologique correspondent souvent aux « éléments structurants » du paysage. Ils peuvent être continus ou discontinus (réseau de mares temporaires, par exemple), permanents ou non (migration d'espèces), voire « immatériels » (axes migratoires des oiseaux, des poissons marins). Leurs caractéristiques diffèrent selon les espèces ou groupes d'espèces.

Les **zones tampons** : une zone intermédiaire entre le corridor ou un habitat essentiel (réservoir de biodiversité) et la matrice écopaysagère

Réservoir de biodiversité : c'est dans ces espaces que la biodiversité est la plus riche et la mieux représentée. Les conditions indispensables à son maintien et à son fonctionnement sont réunies. Ainsi une espèce peut-elle y exercer l'ensemble de son cycle de vie (station floristique : Alimentation, reproduction, migration, repos,) et les habitats naturels assurer leur fonctionnement. Ce sont soit des réservoirs à partir desquels des individus d'espèces présentes se dispersent, soit des espaces rassemblant des milieux de grand intérêt. Ce terme sera utilisé de manière pratique pour désigner « les espaces naturels et zones humides importants pour la préservation de la biodiversité », au sens de l'article L. 371-1 du code de l'environnement.

Ripisylve : **forêt riveraine**, **rivulaire** est l'ensemble des formations boisées, buissonnantes et herbacées présentes sur les rives d'un cours d'eau.

Rugosité (coefficient de) ou coefficient de rugosité ou de friction : difficulté d'une espèce ou d'un groupe d'espèces à franchir une occupation du sol donné.

Structure paysagère : systèmes formés par des objets, éléments matériels du territoire considérés et les interrelations, matérielles ou immatérielles qui les lient.

Trame verte et bleue : réseau écologique national constitué de deux éléments principaux baptisés : réservoirs de biodiversité et corridors écologiques s'appliquant plus particulièrement aux milieux terrestres, humides et aquatiques.

Zone nodale : cf. réseau écologique, réservoir de biodiversité.

Zone tampon : cf. réseau écologique.

Sigles

BRGM	Bureau de la Recherche Géologique et Minière
COMOP	COMité OPérationnel
CPIE	Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement
CRBPO	Centre de Recherches par le Bagueage des Populations d'Oiseaux
CRPF	Centre Régional de la Propriété Forestière
CSRPN	Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel
DDE	Direction Départementale de L'équipement
DGFIP	Direction Générale des Finances Publiques
DIR	Direction Interrégionales des Routes
DREAL	Direction Régionale de L'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
GIS SOL	Système d'information des sols de France
IFN	Inventaire Forestier National
INPN	Inventaire National du Patrimoine Naturel
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
LGV	Ligne à Grande Vitesse
LOTI	Loi d'Organisation des Transports Intérieurs
MEDDTL	Ministère de l'Écologie, de l'Énergie du Développement Durable des Transports et du Logement
MNHN	Muséum Nationale d'Histoire Naturelle de Paris
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONF	Office National des Forêts
PAC	Politique Agricole Commune
PLU	Plan local d'urbanisme
PNR	Parc Naturel Régional
RF	Réseau Ferré de France
SCOT	Schéma de Cohérence Territorial
Sétra	Service d'Études sur les Transports, les Routes et de leurs Aménagement
SIG	Système d'Information Géographique
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Écologique
TVB	Trame Verte et Bleue

Rédacteurs

CETE de L'Est
CETE Normandie Centre
CETE Nord Picardie
CETE Méditerranée
CETE de Lyon
CETE du Sud Ouest
CGDD
Sétra

Renseignements techniques

Jérôme CAVAILHES, Sétra
téléphone : 33 (0)1 46 11 30 91 – télécopie : 33 (0)1 45 36 87 91
mél : jérôme.cavailhes@developpement-durable.gouv.fr

AVERTISSEMENT

La collection des notes d'information du Sétra est destinée à fournir une information rapide. La contre-partie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son rédacteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

46, avenue Aristide Briand – BP 100 – 92225 Bagneux Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 31 – télécopie : 33 (0)1 46 11 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.i2>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.
Référence : 1132w – ISSN : 1250-8675

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEDDTL

