

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE
LA NATURE ET DE LA VIE

N° :



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : ECOLOGIE

OPTION : ZONE ARIDES ET SEMI-
ARIDES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

BARKATI Chamms Elasil
HACHEMI Ouidad
SAADA Asma

Intitulé

L'impact des activités humaines sur la connectivité
écologique des habitats dans les écosystèmes terrestres

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. MAYACHE.B	Université de M'Sila	Encadreur.
Pr. NOUIDJEM Yacine	Université de M'Sila	Président.
Pr. BOUNAR Rabah	Université de M'Sila	Rapporteur.

Année universitaire : 2023 /2024

Remerciements

Avant tout, louange à Dieu tout puissant de nous avoir accordée la force, le courage et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

On remercie tendrement nos familles qui ont été toujours à notre côtés, et pour leur soutien et leur encouragement,

C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur **Mayache Boualem** pour avoir proposé ce thème, suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que, ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux,

Nous adressons nos remerciements aux membres de jury messieurs les professeurs ; **BOUNAR Rabah** et **NOUIDJEM Yacine** de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Enfin on ne peut oublier de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

Sans oublier nos collègues de promotion science naturelle. Merci

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة و السلام على اشرف المرسلين

وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs

Prières tout au long de mes études

*A mon cher mari, **Saber Meftah**, pour tout votre soutien, vos efforts*

*A mes chères sœurs : **Amira, Ikram, Aya, Safa, Tasnim***

*A mes chers frères : **Hossin, Hassen, Abd Eltawab***

*A mon binôme : **Asma et Ouidade***

*A mes meilleurs amis : **Chaima, Abir, Yasmine, Chahinaze, Fatiha, Dounia zed, Rayene, Nessrine, Imane***

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre
soutien infaillible,*

Merci d'être toujours là pour moi.

Barkati Chamms Ellassil

Dédicace

Avec l'aide de dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

*A mon papa DJAMEL à qui je dois mon éducation et mon instruction, que dieu lui
accorde sa grâce infinie,*

*A ma très chère et douce maman FATIHA, qui m'a transmis la vie, l'amour, le
Courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé pour
Moi,*

*Tu mérites tous l'amour du monde pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me
Donner de puis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte ;*

Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

À mon cher mari ABDULLAH MOSSED, qui m'a toujours soutenue.

Délicats de cette vie mystérieuse ;

*Ama sœur et ma chères frères SAHIRA et MANAR, HELMI, BOJIE,
FAROUK présent dans tous mes moments d'examens par leur soutien moral, que
dieu tes protège ; Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé
et de réussite...*

Ames adorables amis, ASMA, CHAMMS ELASSIL

A toutes les personnes que j'aime...

Ouidad hachemi

Dédicaces

Je commence ma dédicace au nom du Dieu et le salut sur Mohamed Le Messager du Dieu. J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail tous d'abord A mon pays l'Algérie.

A mes chers parents qui sont toujours là à me consoler et m'encourager, qui donnent de précieux d'eux pour me voir réussir de jour en jour, ainsi que, je souhaite une longue et heureuse vie.

A mon cher mari « **Adel** », merci pour tes encouragements, que dieu nous bénisse, protège notre amour et nous aide à réaliser tous nos rêves partagés.

A mes chers enfants « **Mohamed Kossai, Soujoud** » que dieu les protègent.

À toute ma famille paternelle **SAADA** et maternelle **KHARCHOUCHE**.

A mes chers frères « **Hemza, Salim, Mohamed Lamine** » que dieu les protègent.

À mes amies de Faculté des Sciences.

À mon cher trinôme, Je vous remercie pour votre soutien moral, ta patience et votre dévouement à ce travail, Je vous dédie le fruit de nos efforts.

ASMA. S

Table de matières

Remerciements

Dedicaces

Table de matières

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction: 1

Chapitre I : Types d'activités humaine et fragmentation des habitats

I-1 Urbanisation et expansion urbaine : 4

I-1-1 Impacts de l'expansion urbaine sur la fragmentation de l'habitat : 4

I-2 Fragmentations dues aux infrastructures routières et linéaires : 5

I-2-1 « L'effet barrière » : 6

I-2-2 Traversées de la faune : 7

I-3 Barrages : 9

I-3-1 Changements dans le transport des sédiments : 9

I-3-2 Altération de l'hydrodynamique : 9

I-3-3 Changements de la qualité de l'eau : 10

I-3-4 Interruption du continuum fluvial : 10

I-3-5 Perte de couverture végétale : 10

I-3-6 Impact sur la qualité de l'air 10

I-3-7 Perte ou changements de la composition de la communauté 10

I-3-8 Impact sur l'écosystème 11

I-3-9 Érosions ou dégradation des sols : 11

I-3-10 Altérations dans la dynamique des températures : 11

I-4 Agriculture intensive et fragmentation des terres agricoles 11

I-5 Exploitation forestière et ses effets sur la connectivité des habitats 12

Chapitre II : Méthodes de quantification et d'évaluation de la connectivité écologique

II-1 indices de fragmentation des habitats : 14

II-1-1 les indices spatiaux : 14

II-1-2 Analyses coûts – déplacements 15

II-1-3 L'indice intégral de connectivité IIC 16

II-3-Des utiles géospatiaux et SIG pour évaluer la connectivité	19
II-3-1 Conefor	19
II-3-1-1 Le concept de disponibilité de l'habitat comme consensus.....	19
II-3-2- Outil de SIG	20

Chapitre III : Conséquence de la fragmentation des habitats

III-1 Effets sur la mobilité des espèces :	22
III-1-1 Réduction des déplacements et de la dispersion des espèces :	22
III-1-2 Barrières physiques et comportementales aux déplacements	22
III-2 Impact sur la diversité et le flux des espèces	23
III-2-1 Diminution de la richesse spécifique et de l'abondance.....	23
III-2-2 Perturbation des flux génétiques et des échanges entre populations	24
III-2-3 Risque d'isolement et de dépression génétique	24
III-3 Conséquences sur la dynamique des populations :	24
III-3-1 Réduction de la taille des populations.....	24
III-3-2 Augmentation des risques d'extinction locale	25
III-4- Stratégie de conservation et de restauration	25
III-4-1 Définition des corridors écologiques :	25
III-4-2 techniques de création et de restauration des corridors écologiques	26
III-4-3 Importance des corridors écologiques pour maintenir la connectivité	27
III-4-4 Exemples d'applications réussies de corridors écologiques :.....	29
III-5 Politique de conservation visant à réduire la fragmentation des habitats :	32
III-5-1 Cadres réglementaires et législatifs pour réduire la fragmentation des habitats	32
III-5-2-1 Schémas d'aménagement et de gestion des espaces.....	33
III-5-2-2 Identification et cartographie des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques	34
III-5-3-1 Classements de protection des espaces	35
III-5-3-2 Réglementation de l'urbanisation et des activités en zones sensibles	36
III-5-4-1 Création et entretien de corridors biologiques	37
III-5-4-2 Reconstitution d'habitats dégradés ou fragmentés	37
III-5-4-3 Gestion adaptative des espaces naturels.....	38
III-5-5-1 Programmes de préservation de la biodiversité.....	38

III-5-5-2 Implication des acteurs locaux dans la préservation des corridors	39
III-5-5-3 Initiatives internationales et nationales de conservation	39
III-6 Concepts et application	40
III-6-1 Concepts et définitions.....	40
III-6-2 Corridor	41
III-6-3 Ses application	42

Chapitre IV : Etude de cas

IV-1 Fragmentation de l'habitat du géants panda dans le sud-ouest de la Chine (Monts Qionglai)	44
IV-2 Connectivité du tigre in Inde	45
Conclusion.....	47
References	49
Résumé	

Liste de figures

Figure 01 : Exemple de l'impact de l'expansion urbaine sur la fragmentation des habitats (Road Vulture Cadaver - Free photo on Pixabay - Pixabay,19-04-2024).....	5
Figure 02 : Le lynx boréal, espèce rare présente dans les Alpes, est fortement impacté par les infrastructures de transport, qui fracturent son écosystème, créent des effets de barrière et provoquent une mortalité directe des individus par collisions. L'espèce est protégée par la loi en Europe et figure sur la liste rouge de l'UICN des espèces menacées. (Keith Douce, Université de Géorgie, Bugwood.org, 2021).....	6
Figure 03 : La fragmentation du paysage entraîne une diminution des territoires disponibles pour les animaux, réduisant ainsi les habitats et les opportunités de reproduction. Cette situation engendre une compétition accrue pour les ressources, tout en favorisant l'augmentation de la consanguinité parmi les populations animales. (Mouvement Norwex, 2012).	7
Figure 04 : Un passage supérieur pour la faune. Ce type de structure est préféré par la plupart des espèces. Ils sont construits le plus grand possible, avec un substrat naturel et une végétation indigène (Pinterest et David ,2012).....	8
Figure 05 : Un passage souterrain pour la faune. Certaines espèces peuvent être réticentes à emprunter ces passages en raison de l'effet tunnel (Tony,2012)	8
Figure 06 : En France, un ponceau traverse une autoroute. L'aménagement d'un banc du côté gauche a pour objectif de rendre l'utilisation de ce passage plus accessible aux petits mammifères tels que les loutres, les blaireaux, les martres et les renards. (Andréa ,2012).....	9
Figure 07 . À gauche, on peut observer un graphique illustrant un paysage comprenant 50 tâches d'habitat (noeuds) reliées par le "minimum spanning tree" ou cheminement de distance minimale. Selon Urban et Keith (2001)À droite, on peut observer un graphe où plusieurs voies peuvent relier deux tâches (multigraphe) ; la tâche 2 se trouve à une distance supérieure au seuil de dispersion et n'est donc pas connectée au réseau : d'après Saura et Pascual-Hortal (2007).	19
Figure 08 : L'impact des routes sur le déplacement des animaux https://pixabay.com/fr/	23
Figure 09 : corridors écologique https://geoconfluences.ens-lyon.fr/	28
Figure 10 : Une des passerelles fauniques du parc national de Banff. Photo: Kelly Zenkewich, Yellowstone to Yukon Conservation Initiative (Sophie,2022).	30
Figure 11 : Corridor fluvial du Rhin (Helm, N.2022).	31
Figure 12 : Corridor urbain à Singapour	32
Figure 13 . Giant panda (<i>Ailuropoda melanoleuca</i>), (pixabay.com ,16/05/2024).....	45

Liste des abréviations

CDB : Convention sur la diversité biologique.

CH4 : Méthane.

CO2 : Dioxyde de carbone.

DF : Distance fonctionnelle.

DH : Distance hydrographique.

DIREN : Direction régionale de l'environnement.

DOCOB : l'objet de documents d'objectifs.

GPS : Système de positionnement global.

H2S : Sulfure d'hydrogène.

HMM : Modèle de Markov caché.

IIC : L'indice intégral de connectivité.

Km2 : kilomètres.

LCP : modèle de circuit et de l'algorithmex.

ONG : Les organisations non gouvernementales.

PC : L'indice de probabilité de connectivité.

PLU : Plan Local d'Urbanisme.

PNR : Parcs naturels régionaux.

RCM : La résistance cumulée minimale.

RNN : Réserves naturelles nationales.

RNR : réserves naturelles régionales.

SCOT : Schéma de Cohérence Territoriale.

SIG : Système d'information géographique.

SSM : Système de support à la décision.

TVB : Trame verte et bleu.

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature.

WAP : W-Arly-Pendjari.

ZPS : Zones de Protection Spéciale.

ZSC : Zones Spéciales de Conservation.

Introduction

Introduction

Selon la conception traditionnelle de la fragmentation de l'habitat, une vaste zone intacte d'un seul type de végétation est divisée en unités plus petites (Mullu, 2016). La fragmentation de l'habitat se définit comme le processus par lequel un habitat continu est divisé en plusieurs fragments plus petits et isolés les uns des autres (Haddad et al., 2015).

Le terme "fragmentation de l'habitat" a été critiqué comme étant 'conçu de manière large et donc simplifié à l'extrême " (Bunnell ,1999). L'expression "fragmentation de l'habitat" a "une réelle valeur heuristique dans la reconnaissance explicite d'un domaine global". Le terme est toujours utilisé pour désigner les conséquences globales de la modification du paysage par l'homme (Ewers et Didham,2007). La perte d'habitat entraîne généralement une fragmentation, c'est-à-dire la division de l'habitat en morceaux plus petits et plus isolés, divisés par une matrice de couverture terrestre qui a été modifiée par l'homme. Les altérations à long terme de la structure et de la fonction des fragments restants sont dues à la perte de surface, à l'isolement accru et à l'exposition accrue aux activités humaines le long des marges du fragment (Lindenmayer et Fische, 2013).

La connectivité entre les fragments, les caractéristiques de la matrice, la disponibilité de corridors pour le mouvement entre les fragments, et la perméabilité et la structure des bordures de l'habitat sont tous des éléments importants dans ce contexte.la perméabilité et la structure des bordures de l'habitat sont toutes importantes dans ce contexte et affectent la structure, la persistance et la force des espèces et influencent la structure, la persistance et la force des interactions entre les espèces (Fortuna et al, 2006). La définition de la connectivité du paysage comprend deux concepts fondamentaux :

- a) La connectivité structurelle qui se réfère à la structure physique et spatiale du paysage, c'est-à-dire la présence et la configuration des éléments naturels (corridors, zones nodales, etc.) qui permettent les déplacements des espèces (Saura et al., 2018). Elle dépend des caractéristiques objectives du paysage comme la distance entre les habitats, la présence de barrières physiques, la qualité et la composition des milieux (Vuilleumier et Metzger, 2021 ; Foltête et al., 2022).
- b) La connectivité fonctionnelle qui fait référence à la capacité réelle des espèces à se déplacer et à interagir dans le paysage, en fonction de leurs traits biologiques et écologiques (Keeley et al., 2016 ; Mimet et al., 2016). Elle prend en compte la perception et l'utilisation du paysage par

Introduction

les organismes, leurs capacités de dispersion, leurs exigences en termes d'habitats, etc. (Hooftman et Bullock, 2021). La connectivité fonctionnelle peut différer de la connectivité structurelle, car elle dépend de la façon dont les espèces perçoivent et utilisent le paysage.

La connectivité écologique est cruciale pour préserver la biodiversité en favorisant la mobilité des espèces et en renforçant la résilience des écosystèmes. Elle joue un rôle fondamental dans la préservation de l'équilibre naturel face aux défis environnementaux actuels (Laurie, 2023).

Par connectivité écologique, on entend la possibilité pour les espèces de se déplacer sans entrave et le flux de processus naturels qui préserve la vie sur terre. Elle peut donc également désigner des écosystèmes continus souvent reliés par des corridors écologiques. Aujourd'hui, la moitié des aires protégées est connectée selon l'Indice de protection et connexion (Protconn) (Climate Chance, 2023).

Les espèces fauniques ont besoin de connectivité écologique, c'est-à-dire d'un degré de connexion entre différents milieux naturels dans le paysage. Cette connectivité apporte plusieurs bénéfices, comme le brassage génétique qui augmente la résilience des populations face aux perturbations. De plus, les corridors écologiques permettent aux espèces de migrer vers de nouvelles zones refuges, en réponse aux changements climatiques qui poussent de nombreuses espèces à se déplacer, généralement vers le nord de leur aire de répartition historique. (Miriane, 2023).

Les activités humaines transforment rapidement notre environnement, entraînant des bouleversements climatiques et un déclin massif de la biodiversité. Plus d'un million d'espèces dans le monde sont aujourd'hui menacées d'extinction, avec une diminution généralisée de l'abondance des espèces. Dans la région, ces changements prennent diverses formes, menaçant la connectivité écologique. La déforestation, l'urbanisation, l'expansion des infrastructures de transport et la conversion des milieux naturels en terres agricoles fragmentent les habitats et dégradent les écosystèmes, au détriment de la biodiversité et des services écosystémiques (Arkilanian, 2021).

Les êtres humains modifient les paysages depuis des millénaires. Dès la préhistoire, les chasseurs-cueilleurs ont influencé leur environnement, par exemple en utilisant le feu pour favoriser certaines espèces de gibier. De nos jours, les éleveurs continuent cette pratique en brûlant régulièrement les prairies. Au fil du temps, de nombreuses activités humaines ont transformé et fragmenté les paysages. L'agriculture, la colonisation, l'extraction de ressources (exploitation minière, foresterie), le développement industriel (construction de barrages) sont autant de facteurs

Introduction

de modification des écosystèmes. Parmi ces activités, l'agriculture est aujourd'hui la principale cause mondiale de perte et de fragmentation des habitats naturels (Mullu, 2016).

Les habitats peuvent être fragmentés naturellement au fil du temps, en fonction des conditions abiotiques et biotiques du paysage. Mais les activités humaines peuvent rapidement modifier la qualité et la connectivité des habitats, entraînant une perte de connexion entre les unités paysagères. Cette disjonction diminue la diversité des espèces dans les écosystèmes, affecte négativement les fonctions des écosystèmes et perturbe l'équilibre des réseaux méta communautaires. De nombreuses études menées dans le contexte de l'écologie du paysage ont souligné que la fragmentation des habitats et la perte de connectivité menacent la biodiversité (Gülçin, 2021).

En fin ce mémoire vise à synthétiser la littérature scientifique existante sur les impacts des activités humaines sur la connectivité écologique des habitats terrestres. Il identifiera et décrira les principaux mécanismes par lesquels ces activités humaines fragmentent, dégradent et isolent les habitats naturels, nuisant ainsi à la connectivité écologique. Il évaluera également les conséquences de cette perte de connectivité sur la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et la résilience face aux changements environnementaux. Enfin, il recensera et discutera les différentes approches et solutions proposées dans la littérature pour préserver et restaurer la connectivité écologique dans les paysages terrestres façonnés par l'homme. Il identifiera également les principaux défis et lacunes de connaissances qui nécessitent des recherches supplémentaires sur cette thématique.

Notre étude est structurée en trois chapitres. Le premier chapitre analyse les différents types d'activités humaines et leur impact sur la fragmentation des habitats. Le deuxième chapitre traite des méthodes de quantification et d'évaluation de la connectivité écologique. Le troisième chapitre examine les conséquences de la fragmentation des habitats sur la faune et la flore. Enfin, notre étude se termine par une conclusion générale.

**Chapitre I : Types d'activités
humaine et fragmentation des
habitats**

I-1 Urbanisation et expansion urbain :

L'expansion urbaine n'est en aucun cas un phénomène récent il comporte plusieurs aspects, un des éléments de l'urbanisation qui contribue à la diminution de la diversité des espèces est l'impact de la superficie ; l'expansion des surfaces imperméables dans les zones urbaines restreint et fragmente l'habitat disponible pour les plantes et les animaux (McKinney,2008).

L'urbanisation a progressé rapidement à l'échelle mondiale au cours des dernières décennies, devenant une cause majeure de perte et de fragmentation des habitats. Entre 2010 et 2050, la population urbaine devrait passer de 51,6 % à 67,2 % à l'échelle mondiale, avec une multiplication par trois de la zone bâtie. Ce phénomène a entraîné la conversion de vastes zones d'habitat naturel en surfaces imperméables, entraînant ainsi une perte d'habitat. De plus, le développement d'infrastructures telles que les routes et les voies ferrées a conduit à la fragmentation de l'habitat. Comprendre les liens entre la perte d'habitat et la fragmentation due à l'urbanisation est essentiel pour évaluer ses impacts sur la biodiversité et les écosystèmes (Liu Z et al, 2016).

I-1-1 Impacts de l'expansion urbaine sur la fragmentation de l'habitat :

L'expansion urbaine affecte la vitesse de propagation et de réinstallation, ce qui rend les habitats naturels de plus en plus isolés avec l'augmentation de l'urbanisation, dispersés, irrégulièrement répartis et inégaux (Gauangdong et al, 2022). L'urbanisation croissante peut entraver la reproduction des animaux locaux en raison de la raréfaction des habitats, de la diminution des ressources alimentaires et en eau, ce qui compromet leur survie. En outre, ces animaux sont exposés à des dangers tels que les conflits avec les humains, le risque d'accidents routiers et le braconnage (Gupta et al, 2020).

L'urbanisation accroît la dispersion des animaux, ce qui les empêche de trouver des couloirs de migration sûrs entre des lieux tels que les routes et les clôtures qui entravent leurs déplacements (Figure 1), ainsi que le bruit, l'éclairage urbain et la pollution qui affectent leur mode de vie et réduisent leur capacité à se nourrir et à se reproduire, comme nous l'avons mentionné plus haut.



Figure 1 : Exemple de l'impact de l'expansion urbaine sur la fragmentation des habitats (Road Vulture Cadaver - Free photo on Pixabay - Pixabay,19-04-2024)

I-2 Fragmentations due aux infrastructures routières et linéaires :

La fragmentation des paysages est reconnue comme l'une des principales causes du déclin de la biodiversité à l'échelle mondiale. L'expansion des infrastructures de transport au cours des dernières décennies a profondément altéré les paysages, ayant un impact significatif sur les écosystèmes naturels et la faune. Les autoroutes agissent comme des obstacles physiques, entravant les déplacements des animaux et perturbant la connectivité des habitats. Les collisions avec des véhicules constituent une source directe de mortalité pour la faune, et la fragmentation induite par les routes et les voies ferrées est désormais reconnue comme un problème majeur à la fois régional et local. (Andreas et Lennart, 2006).

Cela entraîne des effets de barrière pour les grandes espèces animales telles que l'orignal, l'ours, le loup, le lynx boréal (Figure 02), ainsi que pour les espèces aquatiques. De plus, cela perturbe les oiseaux et affecte la faune sensible ainsi que les habitats naturels, notamment les zones humides, entraînant la perte d'habitats désignés et précieux. Ces questions sont de plus en plus abordées dans un nombre croissant d'évaluations d'impact environnemental et d'études universitaires (Goudard, 2007)

Les collisions entre véhicules et animaux ont depuis longtemps attiré l'attention, en particulier en ce qui concerne les accidents impliquant des espèces telles que l'orignal et le renne.

(Andreas et Lennart, 2006). Les collisions de véhicules avec la faune provoquent des perturbations démographiques importantes et augmentent le risque d'extinction d'espèces rares et menacées (Margaux et Andréa, 2021)



Figure 02 : Le lynx boréal, espèce rare présente dans les Alpes, est fortement impacté par les infrastructures de transport, qui fracturent son écosystème, créent des effets de barrière et provoquent une mortalité directe des individus par collisions. L'espèce est protégée par la loi en Europe et figure sur la liste rouge de l'UICN des espèces menacées. (Keith Douce, Université de Géorgie, Bugwood.org, 2021)

I-2-1 « L'effet barrière » :

La survie des populations animales dépend de leur capacité à se déplacer librement à travers le paysage. En effet, les animaux sont toujours à la recherche de nourriture, d'un abri ou d'un partenaire avec qui se reproduire. La construction d'infrastructures de transport renforce un « effet barrière », induit par le grillage des routes et la pollution sonore et lumineuse générée par la circulation automobile. Le paysage est ainsi divisé en petites « îles » isolées, où les habitats naturels et les populations se retrouvent déconnectés les uns des autres. Cette fragmentation de l'environnement réduit la quantité d'habitats, de ressources et de partenaires sexuels disponibles. L'isolement de la population augmente la consanguinité (Figure 03), ce qui affaiblit les populations animales et peut éventuellement entraîner une extinction locale à long terme (Margaux et Andréa, 2021).

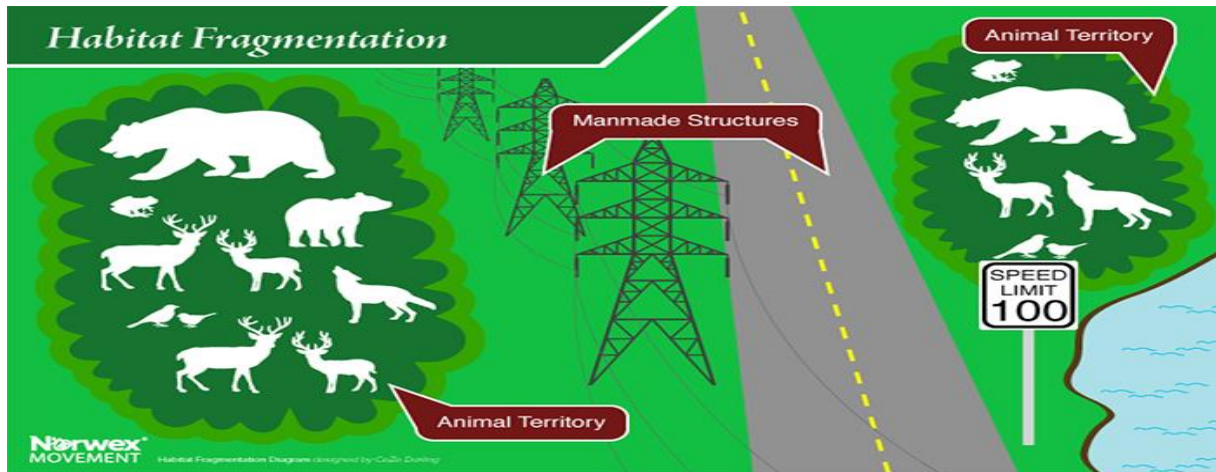


Figure 03 : La fragmentation du paysage entraîne une diminution des territoires disponibles pour les animaux, réduisant ainsi les habitats et les opportunités de reproduction. Cette situation engendre une compétition accrue pour les ressources, tout en favorisant l'augmentation de la consanguinité parmi les populations animales. (Mouvement Norwex, 2012).

I-2-2 Traversées de la faune :

Dans les années 1960, la France a pris l'initiative de créer des passages spécialement conçus pour permettre à la faune de traverser en toute sécurité (Figure 04). Ces actions, combinées à la mise en place de clôtures le long des autoroutes, avaient pour double objectif de sécuriser les conducteurs et de protéger la diversité biologique. L'objectif était de réduire les collisions entre la faune sauvage et les véhicules en restreignant l'accès des animaux aux routes à grande circulation. (Jumeau et Handrich, 2016)

Les passages dédiés à la faune sont une réponse concrète à l'enjeu mondial pressant de la perte de biodiversité. Leur but est de faciliter le déplacement sans risque des animaux à travers les réseaux de transport. Ces structures sont spécialement conçues pour encourager l'utilisation par les animaux, et leur efficacité est largement documentée dans la littérature scientifique, démontrant ainsi leur impact positif sur la mobilité de la faune. (Figure 05 et 06). (Berch et al, 2018)

Leur implantation est stratégique et encore limitée en raison de leur coût élevé. Le choix de l'emplacement pour la construction d'un passage à faune repose sur une analyse préliminaire identifiant les principaux corridors écologiques utilisés par la faune ainsi que les zones présentant

un risque élevé de collision. De plus, la décision de construire un passage dépend de la fragmentation de l'écosystème environnant et de la présence d'espèces à haute valeur de conservation, telles que le lynx, classé sur la Liste rouge de l'UICN, en raison de leur vulnérabilité (Bonhomme, 2012).



Figure 04 : Un passage supérieur pour la faune. Ce type de structure est préféré par la plupart des espèces. Ils ont construit le plus grand possible, avec un substrat naturel et une végétation indigène (Pinterest et David ,2012)



Figure 05 : Un passage souterrain pour la faune. Certaines espèces peuvent être réticentes à emprunter ces passages en raison de l'effet tunnel (Tony,2012)



Figure 06 : En France, un ponceau traverse une autoroute. L'aménagement d'un banc du côté gauche a pour objectif de rendre l'utilisation de ce passage plus accessible aux petits mammifères tels que les loutres, les blaireaux, les martres et les renards. (Andréa ,2012)

I-3 Barrages :

La construction de barrages sur les rivières du monde entier, indépendamment de leur objectif économique, a modifié les paysages fluviaux et entraîné de graves conséquences écologiques pour les organismes biologiques associés ces écosystèmes (Branquinho et Brito, 2016).

I-3-1 Changements dans le transport des sédiments :

Réduction du transport des sédiments vers les régions aval et ses conséquences sur la faune locale ; changements dans les bancs de sable ; érosion côtière causée par la diminution de l'approvisionnement en sédiments (Lee et al. 2009 ; Svendsen et al. 2009 ; Wang et al. 2013)

I-3-2 Altération de l'hydrodynamique :

Changements du régime des inondations ; réduction du débit des rivières et disponibilité de l'eau. (Abujanra et al. 2009 ; Gauld et al. 2013 ; Greet et al. 2013)

I-3-3 Changements de la qualité de l'eau :

Eutrophisation ; anoxie/hypoxie ; génération de substances chimiques dangereuses pour la vie (par exemple : H₂S) ; prolifération excessive de mauvaises herbes et ses conséquences (Zeng et al. (2006) ; Clark et al. (2009) ; Käiro et al. (2012)

I-3-4 Interruption du continuum fluvial :

Réduction/prévention des voies migratoires ; changement dans la structure de la population des espèces ; interruption du flux génétique ; isolement de la population par une barrière physique/génétique. (Ward et Stanford 1983; Katano et al. 2009; Iacone Santos et al. 2013; Weber et al. 2013)

I-3-5 Perte de couverture végétale :

Déforestation causée par les barrages ; perte de forêt endémique ; mort des arbres et absence de régénération de la végétation ; changements dans l'évapotranspiration et son impact sur les précipitations locales et régionales (New and Xie, 2008 ; Naik et al. 2011 ; Egger et al. 2012).

I-3-6 Impact sur la qualité de l'air

La libération de gaz à effet de serre par les turbines et les déversoirs des barrages est un phénomène qui se produit lorsque l'eau en mouvement entraîne la libération de gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), dans l'atmosphère. Ces émissions contribuent au réchauffement climatique et aux changements climatiques globaux. (Fearnside 1995, 2002, 2005 ; Gunkel 2009).

I-3-7 Perte ou changements de la composition de la communauté

Parmi les causes de la perte ou changements de la composition de la communauté, l'extinction locale d'espèces, l'introduction d'espèces invasives et la réduction de l'abondance des espèces indigènes. (Bredenhand et Samways, 2009) ; Wang et al. 2011 ; Randklev et al. 2013)

I-3-8 Impact sur l'écosystème

Les barrages ont un impact sur l'écosystème en réduisant les taux de décomposition, en modifiant la chaîne alimentaire, ils peuvent également impacter la cascade trophique en provoquant la perte d'une guilda, des changements dans les interactions compétitives ou de prédation et des interférences dans les cycles biogéochimiques. (Xu et al. 2011 ; Mendoza-Lera et al. 2012 ; Yang and Chen 2013)

I-3-9 Érosions ou dégradation des sols :

Érosions, changements dans les propriétés chimiques du sol, modifications sismiques, glissements de terrain, érosion du lit des rivières (formation du "pool" en aval) (Lu and Higgitt 2000 ; Wu et al. 2013 ; Zhao et al. 2014)

I-3-10 Altérations dans la dynamique des températures :

Libération d'eau à partir de l'hypolimnion ou de l'épilimnion entraînant un changement de la température naturelle de la rivière ; stratification thermique. (Sinokrot et Gulliver (2000); Gerech et al. 2011 ; Yang et al. 2012).

I-4 Agriculture intensive et fragmentation des terres agricoles

Au fil du temps, l'intensification de l'agriculture s'est développée pour satisfaire la demande croissante en produits alimentaires. Toutefois, cette expansion a eu des répercussions significatives sur la diversité biologique. L'agriculture intensive a pour premier effet de transformer les habitats naturels en terres agricoles. Ce changement de terrain entraîne la perte d'habitats pour de nombreuses espèces sauvages, ce qui restreint leur capacité de survie et de reproduction. En outre, l'intensification de l'agriculture conduit à la destruction des écosystèmes, c'est-à-dire à la fragmentation des habitats naturels en parcelles séparées les unes des autres. La division des populations d'espèces sauvages empêche la connexion entre elles, ce qui diminue leur variété génétique et leur résistance aux perturbations environnementales (laetitia ;2023)

La capacité d'accueil des parcelles cultivées pour les espèces sauvages est réduite de différentes façons par l'agriculture intensive : par la suppression physique des arbres et haies,

l'érosion du sol, l'élimination des plantes messicoles, les traitements insecticides, antibiotiques ou antifongiques, le drainage des eaux de surface, la pollution ou l'éventuelle salinisation des sols, etc. De cette façon, l'adaptation d'habitats (semi-) naturels à des systèmes d'agriculture intensive diminue considérablement la capacité biotique de ces habitats pour les communautés d'espèces sauvages (Anne ,2022).

I-5 Exploitation forestière et ses effets sur la connectivité des habitats

Selon Herlaut (2016), les forêts sont l'un des écosystèmes les plus affectés par le déploiement des civilisations, car l'Homme a constamment déforesté ces zones afin d'agrandir les zones de culture et de pâturage nécessaires à sa survie. De plus, dans certaines régions, elles sont affectées par la fragmentation. En même temps, une grande partie des forêts a été préservée et exploitée pour les multiples ressources que les forêts offrent. Les activités anciennes telles que le bois de chauffage, la construction navale ou les fortifications ont largement utilisé les ressources forestières au fil des siècles. De nos jours encore, ces ressources sont utilisées pour le développement de nouvelles énergies ou la production de papier. Outre leur importance économique, les massifs forestiers sont perçus comme les principaux espaces de biodiversité dans nos paysages agricoles et sont très prisés par la communauté. (Deconchat et Balent, 2015). En raison de la conversion rapide des forêts, l'habitat est généralement fragmenté (Laurance et al, 2002)

Bien que peu réduit en superficie, l'habitat est fragmenté en plusieurs fragments parfois inaccessibles, selon l'espèce et/ou sa capacité de dispersion. En revanche, une gestion raisonnée de la forêt peut éviter la fragmentation si elle laisse un réseau de tâches forestières dans le paysage assez proche pour qu'elles puissent encore être reliées par les espèces. En d'autres termes, deux habitats physiquement séparés dans l'espace (par fragmentation) ne sont pas nécessairement dissociés. Ils sont dissociés du point de vue de la structure, mais pas du point de vue du fonctionnement. Cela varie en fonction de la mobilité de l'espèce. Le degré de fragmentation et en particulier l'impact que cela peut avoir sur les espèces sont donc très influencés par l'espèce étudiée (Herlaut ; 2016).

Chapitre I : Types d'activités humaine et fragmentation des habitats

Par conséquent, la fragmentation des paysages pourrait aggraver les conséquences de la perte nette d'habitat et renforcer les conséquences sur la biodiversité, en particulier en raison de la perte de connectivité des paysages (Favorel, 2016 ; Du Temps, 2016).

**Chapitre II : Méthodes de quantification
et d'évaluation de la connectivité
écologique**

II-1 indices de fragmentation des habitats :

Les méthodes d'analyses de fragmentation sont classées en deux grandes catégories :

- ✚ Les indices spatiaux
- ✚ Les analyses coûts de déplacement – déplacement des individus

II-1-1 les indices spatiaux :

Des centaines d'indices de fragmentation des habitats existent, mais ce document ne présente que ceux calculables en mode vectoriel. Le mode raster, qui implique une perte d'information, risque de surestimer la fragmentation (De l'environnement, 2010).

Les mesures de distribution de taille et densité des taches :

Les indices de fragmentation spatiale se concentrent sur le nombre et la taille des zones d'habitat, ainsi que sur le nombre de bordures qu'elles créent. La taille des zones est l'indice le plus pertinent car elle est corrélée à la richesse des espèces. Chaque espèce a également un seuil de viabilité qui lui est propre (Forman et Godron, 1986).

Complexité de forme des taches (Fragstat) :

"Fragstat" est un terme qui pourrait être une contraction de "fragmentation" et "statistiques" ou une référence à des analyses statistiques de fragmentation. En écologie et en biologie de la conservation, "Fragstat" fait souvent référence à des logiciels ou des packages informatiques utilisés pour quantifier la fragmentation des habitats, généralement en analysant des images satellitaires ou des cartes de paysages. Ces analyses sont importantes pour évaluer l'impact de la fragmentation sur la biodiversité et pour formuler des stratégies de conservation.

Les formes des taches d'habitat permettent d'évaluer l'importance de l'effet lisière pour des habitats particuliers au sein d'un paysage écologique. Ces indicateurs ne permettent cependant pas d'évaluer la fragmentation des habitats

Mesures d'isolation et de proximité (De l'environnement, 2010).

Ces mesures traitent du contexte spatio-temporel des taches d'habitat et moins de la structure spatiale des taches dans le paysage. Ces mesures sont basées sur différents paramètres:

L'indice de proximité, La distance euclidienne séparant deux taches d'habitats voisines (Gustafon et Parker, 1992).

Indice de division

Cet indice représente la probabilité que deux points choisis au hasard ne soient pas situés dans la même tache. Cet indice exprime le degré de division du paysage en termes de probabilité comprise entre 0 et 1 (Jaeger, 2000).

Connectivité :

La connectivité se réfère à la facilité ou la difficulté d'un paysage à permettre les flux écologiques. Cet indice s'écarte de la structure spatiale et tend à prendre en compte la fonctionnalité écologique au sein d'un paysage. Les indices de connectivité sont basés sur les valeurs de périmètres et de surfaces de chaque tache. Les limites relatives à ces mesures ont déjà été exprimées. Ces indices ont de plus l'inconvénient d'être très peu intuitifs et nécessitent de nombreuses connaissances biologiques (Bogaert, 2003).

La largeur effective de maille :

La largeur de maille effective exprime la probabilité que deux points, choisis au hasard dans une région, soient connectés, c'est-à-dire non séparés par une barrière telle qu'une infrastructure de transport ou une zone urbanisée (Girvetz et al, 2007).

II-1-2 Analyses coûts – déplacements

Les analyses coûts-déplacements reposent sur la facilité ou la difficulté pour les organismes de franchir certaines distances et obstacles, représentés cartographiquement à travers la création d'une matrice de rugosité (De l'environnement,2010).

Ces analyses sont largement utilisées dans la région de Flandre en Belgique et en Franche-Comté en France. Un exemple illustratif est celui de la Franche-Comté, réalisé par la Direction régionale de l'Environnement (DIREN). Sur ces territoires, des continuums d'habitats - ensembles d'environnements favorables à diverses espèces - ont été identifiés et cartographiés. Le coût de déplacement (C) entre deux zones est calculé en multipliant la distance entre elles (D) par un coefficient de rugosité (R). Chaque catégorie d'occupation du sol se voit ainsi attribuer un coefficient de rugosité (R) (De l'environnement,2010).

II-1-3 L'indice intégral de connectivité IIC

(Pascual-Hortal et Saura, 2006) considère les connexions établies (en deçà d'un certain seuil de distance) entre deux taches i et j au sein d'un paysage de surface L il tient compte dans son calcul de la taille des taches (a_i et a_j), et du nombre de lie L'indice de probabilité de connectivité PC (Saura et Pascual-Hortal, 2007) permet de prendre en compte la dispersion non pas de manière binaire mais sur la base d'une probabilité de dispersion entre taches dans le plus court chemin les reliant (nl_{ij}), tel que :

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

L'Indice Intégral de Connectivité (IIC) et l'Indice de Probabilité de Connectivité (PC) sont deux méthodes pour évaluer la connexion entre différentes zones dans un paysage.

L'IIC, proposé par Pascual-Hortal et Saura en 2006, considère les connexions établies entre deux zones, en fonction de leur distance, dans un paysage de taille donnée. Il prend également en compte la taille de ces zones dans ses calculs, ainsi que le nombre de liaisons entre elles.

Le PC, développé par Saura et Pascual-Hortal en 2007, prend en compte la dispersion entre les zones non seulement de manière binaire, mais plutôt en fonction de la probabilité de dispersion le long des chemins les reliant.

Ces indices aident à évaluer comment différentes zones sont connectées dans un paysage, en prenant en considération à la fois la distance entre elles, leur taille, et la probabilité de dispersion entre elles le long des chemins.

2-1-4 L'indice de probabilité de connectivité PC (Saura et Pascual-Hortal, 2007) permet de prendre en compte la dispersion non pas de manière binaire mais sur la base d'une probabilité de dispersion entre taches P_{ij} , comme discuté précédemment (cf. partie 2.1.) :

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j P_{ij}^*}{A_L^2} \quad (1)$$

Chapitre II : Méthodes de quantification et d'évaluation de la connectivité écologique

Cet indice mesure la probabilité de connexion entre différentes zones dans un paysage. En d'autres termes, il évalue à quel point il est probable que des zones distinctes soient reliées les unes aux autres dans un paysage donné.

Rôle de la télémétrie embarquée dans l'Observation des Animaux Sauvages :

L'étude des animaux sauvages peut être très difficile. Ces animaux vivent souvent dans des endroits éloignés ou difficiles d'accès, ce qui rend compliquée leur observation. De plus, beaucoup d'entre eux ont des façons de se cacher ou de s'éloigner des dangers, même des biologistes qui veulent les étudier. C'est pour cette raison que les dispositifs de télémétrie, placés sur les animaux, ont beaucoup changé notre façon de les étudier. Ces appareils nous aident à mieux les voir et à comprendre comment ils se comportent dans leur milieu naturel (Hooten et al, 2017).

Les données sur les mouvements des animaux :

Les données sur le mouvement des animaux sont principalement enregistrées par des technologies telles que le GPS, fournissant des positions spatiales à des moments discrets, Pour les animaux terrestres, les données sont généralement en 2D, tandis que pour les animaux aériens et marins, des données en 3D sont disponibles, comme les mouvements verticaux des espèces aquatiques, Le choix des dimensions dépend des questions de recherche. Bien que les données de mouvement tridimensionnelles soient moins courantes, certaines études les utilisent, mais elles ne sont pas abordées ici. L'échantillonnage des positions est souvent régulier, adapté aux modèles de Markov cachés (HMM) et aux modèles d'état d'espace (SSM), sauf dans quelques cas exceptionnels d'observations irrégulières. Les approches en temps continu, comme les modèles de diffusion, peuvent gérer facilement des intervalles de temps irréguliers dus à la conception, aux données manquantes ou aux limitations technologiques des capteurs (Patterson et al,2017).

Aperçu des modèles au niveau individuel pour le déplacement des animaux :

La sélection du modèle de modélisation dépend largement du type de données disponibles. Pour des données échantillonnées régulièrement, comme toutes les heures ou tous les jours, les modèles en temps discret, tels que les HMM, sont souvent utilisés, surtout si l'erreur de mesure est négligeable. Les HMM sont pratiques et calculables, idéaux pour inférer les interactions entre les animaux et leur environnement.

Chapitre II : Méthodes de quantification et d'évaluation de la connectivité écologique

Cependant, si l'erreur de mesure est importante, les modèles de séries temporelles, comme les SSM, sont préférés malgré leur complexité accrue en implémentation et en calcul. Les SSM peuvent également être utilisés pour filtrer les données bruyantes, Pour des données non régulièrement espacées, les processus de diffusion en temps continu sont souvent utilisés, bien que ces modèles soient moins accessibles que les HMM et les SSM. Cependant, il existe des exceptions, comme l'interpolation des emplacements enregistrés sur une grille requise, suivie de l'ajustement d'un SSM prenant en compte l'erreur d'interpolation. En résumé, le choix du modèle dépend de la régularité des données et de l'importance de l'erreur de mesure, bien que des approches mixtes puissent être nécessaires dans certains cas (Patterson et al,2017).

Causes et conséquences de la variation individuelle dans le déplacement des animaux :

Ce passage aborde les variations des mouvements individuels, influencées par divers facteurs tels que les interactions intra- et interspécifiques, la compétition, les hiérarchies sociales et les migrations. Ces mouvements sont façonnés par des dynamiques sociales et des pressions environnementales telles que la prédation et la disponibilité des ressources alimentaires. Ces variations ont des implications à la fois au niveau individuel, affectant la croissance, la survie et la reproduction, et au niveau de la population, influençant la structure génétique, la connectivité entre les populations et la résilience face aux changements environnementaux (Shaw,2020).

Évaluer les effets des activités humaines sur la faune sauvage :

La classification des activités humaines selon leur impact sur les populations d'animaux sauvages se distingue en deux catégories principales : celles qui altèrent durablement l'environnement physique (telles que l'agriculture, la foresterie, le pâturage du bétail et l'utilisation non réglementée des véhicules tout-terrain) et celles qui influent sur le comportement des animaux, Les loisirs tels que la randonnée, l'observation de la faune et la navigation peuvent également avoir des répercussions significatives, en induisant notamment du stress, des changements d'activité, le déplacement des habitats et une diminution de la productivité, Bien que ces impacts soient généralement temporaires, leur accumulation peut avoir des conséquences à court et à long terme sur les populations animales, En dehors des zones protégées, la plupart des effets sur la faune sont probablement attribuables aux activités récréatives à court terme des visiteurs, soulignant ainsi l'importance de discuter de ces activités et de leurs répercussions futures sur la faune (Steidlet al,2006).

II-3-Des utiles géospatiaux et SIG pour évaluer la connectivité

II-3.1 Conefor

II-3.1.1 Le concept de disponibilité de l'habitat comme consensus

Le logiciel libre Conefor (anciennement Conefor Sensinode) est créé par Saura et Torné (Université de Lleida et Institut Polytechnique de Madrid). Ce logiciel se transforme à mesure que les connaissances sur la connectivité se développent. Au départ, le calcul de la connectivité des habitats était basé sur un graphe spatial généralement élaboré en utilisant une distance minimale entre les tâches à l'échelle du réseau, également connue sous le nom de « minimum spanning tree » (Urban et Keitt, 2001). Comme illustré à gauche sur la Figure 7, il n'existe qu'un seul moyen de passer d'une tâche à une autre. Dans le contexte de la recherche du chemin le plus court à l'échelle du paysage, cette construction est très controversée, car elle peut à chaque étape prendre la meilleure décision en fonction de l'ensemble du réseau, ce qui est peu réaliste. Le graphe construit sous Conefor est plus réaliste, car tous les liens peuvent être enregistrés dès lors qu'ils correspondent aux caractéristiques définies par l'utilisateur en fonction de sa connaissance de l'espèce. À droite de la Figure 7, on peut constater que plusieurs voies relient les tâches 1 et 3 (Avon et Bergès, 2014).

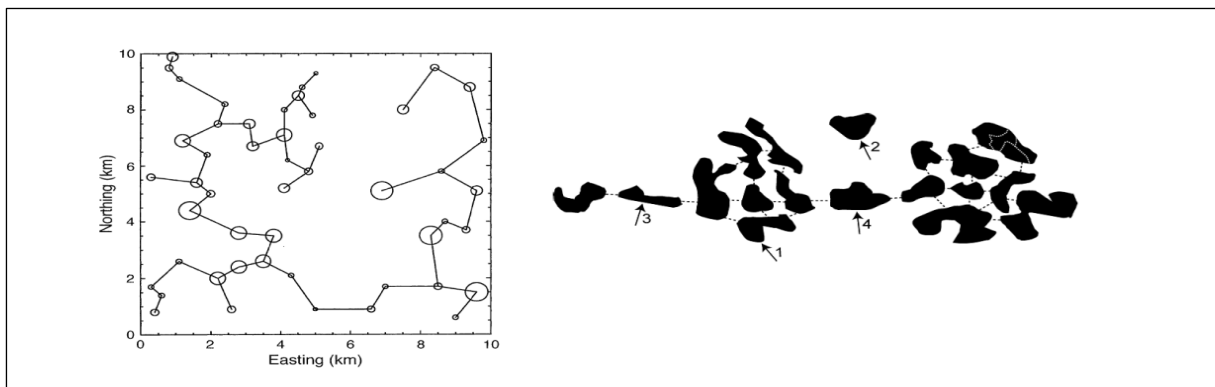


Figure 7. À gauche, on peut observer un graphique illustrant un paysage comprenant 50 tâches d'habitat (noeuds) reliées par le "minimum spanning tree" ou cheminement de distance minimale. Selon Urban et Keith (2001) À droite, on peut observer un graphe où plusieurs voies peuvent relier deux tâches (multigraphe) ; la tâche 2 se trouve à une distance supérieure au seuil de dispersion et n'est donc pas connectée au réseau : d'après Saura et Pascual-Hortal (2007).

II-3-2- Outil de SIG

La connectivité structurelle peut être évaluée grâce au calcul d'une distance hydrographique (DH) entre des taches et/ou des pixels. La méthode de calcul consiste à diffuser de proche en proche en utilisant un algorithme qui simule la propagation d'un signal. (Le Pichon, 2007). La plus simple à collecter est la connectivité structurelle, mais elle n'a qu'un intérêt très limité, car elle ne prend pas en compte les caractéristiques de l'espèce. La proximité (distance au plus proche voisin) a été couramment employée car elle est facile à calculer, mais elle est considérée comme un indice instable. Grâce aux images aériennes et satellites disponibles, ainsi qu'à l'utilisation d'outils SIG de plus en plus avancés, il a été possible de créer des cartographies et de calculer des données d'habitat spatialement explicites sur de vastes surfaces (par exemple, la taille des habitats, le nombre de taches, la taille de l'habitat-cœur, la longueur des lisières...). Cependant, il est difficile de relier ces indices à la connectivité (Avon, et Bergès, 2014).

Le calcul d'une distance fonctionnelle (DF) permet d'évaluer la connectivité fonctionnelle en utilisant la résistance cumulée minimale (RCM). Le calcul de la RCM est effectué afin d'atteindre une tâche ou la tâche la plus proche, en prenant en compte l'ensemble des tâches dans le calcul. Il est requis d'inclure un texte explicite qui fait le lien entre les différents types présents sur la carte du cours d'eau et la valeur de résistance attribuée aux différents types. Le logiciel propose alors la probabilité qu'un poisson d'une taille spécifique atteigne une tâche ou la tâche la plus proche, en prenant en compte le coût du parcours (RCM). On peut utiliser différentes fonctions décroissantes de la RCM pour représenter cette probabilité. Toutes sont distinguées par la sélection par l'utilisateur du paramètre alpha, qui fournit l'ordre de grandeur de la distance fonctionnelle pour laquelle la probabilité diminue. Les cartes « RCM » et « Probabilités » obtenues peuvent être exportées dans différents formats, y compris en ascii, afin d'être réimportées dans un SIG. (Le Pichon ;2007).

Dans le domaine de l'information géographique (SIG), ces types de données offrent deux autres modèles conceptuels de paysages. Sur le terrain, un paysage correspond à une surface qui est définie par certaines variables et qui peut être mesurée à n'importe quel point de la surface. Exemples de champs comprendrait l'altitude, la température de surface ou la biomasse végétale. Les champs complets (c'est-à-dire la surface entière) sont des treillis, les représentations partiellement échantillonnées sont des données géostatistiques. En revanche, un paysage pourrait être considéré comme des éléments ou des objets, des entités discrètes qui

Chapitre II : Méthodes de quantification et d'évaluation de la connectivité écologique

occupent des positions dans un espace par ailleurs indifférencié. Des entités telles que les points d'élévation repères, les isoplètes de température (lignes) et les lacs (polygones) sont des exemples (Urban et Keitt, 2001).

Funconn est un logiciel qui s'intègre à *ArcGis* et qui permet d'établir la cartographie de l'habitat d'une espèce donnée, avec les corridors et liens entre les taches. Selon la quantité d'informations dont on dispose sur l'espèce, le nombre d'étapes peut varier fortement, mais dans tous les cas on peut définir précisément l'habitat de l'espèce en intégrant les éléments évités (routes, lisières...), la mosaïque paysagère selon la carte de coûts, ainsi que le type de liaisons entre taches. L n'y a aucun indice de connectivité calculé avec *Funconn*. Mais il peut sans doute faciliter le travail de construction de la carte d'habitat de l'espèce préalablement à l'analyse de la connectivité elle-même, et ce directement et sous un même outil SIG. En effet, la modélisation de l'habitat de l'espèce en préalable à l'analyse de connectivité peut être utile : une cartographie de l'occupation du sol ne permet pas d'appréhender l'habitat de l'espèce de manière satisfaisante lorsqu'on dispose d'informations sur ses exigences écologiques (taille minimale de la tâche, effet lisière, topographie...).

Certains outils modélisent la présence de l'espèce en fonction de différents paramètres 28 environnementaux, sur la base de relevés d'occurrence et d'environnement, de manière ensuite à l'extrapoler à l'ensemble de la zone d'étude (*Maxent, PRESENCE*) (Avon et Bergès 2014).

**Chapitre III : Conséquence de la
fragmentation des habitats**

III-1 Effets sur la mobilité des espèces :

III-1-1 Réduction des déplacements et de la dispersion des espèces :

Des études scientifiques indiquent que la fragmentation des habitats est un facteur important de réduction de la biodiversité et d'augmentation du risque d'extinction pour de nombreuses espèces animales et végétales. La réduction de la connectivité entre les différents paysages réduit la capacité des animaux à rechercher leurs ressources alimentaires et à se reproduire, ce qui entraîne une réduction des familles génétiques et une aggravation de la vulnérabilité génétique de l'espèce en question (Bennett et al, 2018). La réduction de la dispersion est une conséquence des effets négatifs de la fragmentation de l'habitat et peut entraîner une réduction de la biodiversité et un risque accru d'extinction locale. Des études suggèrent que ce phénomène peut résulter de changements dans l'environnement et de la création d'environnements fragmentés. Par exemple, la conversion de terres à des fins agricoles ou de construction peut fragmenter des habitats essentiels et réduire la quantité de terres naturelles disponibles pour les animaux et les plantes (Fahrig, 2003).

III-1-2 Barrières physiques et comportementales aux déplacements

Les barrières physiques et comportementales aux déplacements sont des obstacles importants pour de nombreuses espèces et peuvent avoir des conséquences graves sur leur capacité à se déplacer et à se disperser. Les barrières physiques, telles que les routes, les autoroutes, les clôtures et les zones urbaines, peuvent bloquer le mouvement des animaux, les séparant de leurs habitats naturels, de leurs sources de nourriture et de leurs partenaires reproducteurs.

Les barrières comportementales, telles que les changements dans les schémas de comportement dus à la présence humaine ou à d'autres perturbations, peuvent également limiter les déplacements des espèces. La compréhension de ces barrières et de leurs impacts sur les populations est essentielle pour élaborer des stratégies de conservation efficaces. Des mesures telles que la création de passages fauniques au-dessus ou en dessous des routes (Figure 08), la protection des corridors de migration et la minimisation des perturbations humaines dans les habitats naturels peuvent aider à atténuer les effets des barrières sur les déplacements des espèces (Forman et Alexander, 1998).



Figure 08 : L'impact des routes sur le déplacement des animaux <https://pixabay.com/fr/>

III-2 Impact sur la diversité et le flux des espèces

III-2-1 Diminution de la richesse spécifique et de l'abondance

La diminution de la richesse spécifique et de l'abondance des espèces est souvent observée dans les zones où la fragmentation des habitats est importante. Lorsque les habitats naturels sont fragmentés en petites parcelles isolées, cela réduit la disponibilité des ressources, la taille des populations et la diversité des espèces présentes. Les espèces qui nécessitent de vastes zones pour se déplacer, se reproduire ou trouver de la nourriture peuvent être particulièrement vulnérables à la fragmentation des habitats.

Cette diminution de la richesse spécifique et de l'abondance des espèces peut avoir des conséquences importantes sur les écosystèmes, y compris une perturbation des interactions écologiques et une diminution de la résilience face aux changements environnementaux. Des recherches récentes ont examiné ces tendances et ont souligné l'importance de prendre des mesures de conservation pour atténuer les effets de la fragmentation des habitats sur la biodiversité (Haddad et al ,2015).

III-2-2 Perturbation des flux génétiques et des échanges entre populations

La perturbation des flux génétiques et des échanges entre populations est une conséquence directe de la fragmentation des habitats. Lorsque les habitats sont divisés en fragments plus petits et isolés les uns des autres, les populations animales et végétales ont moins d'opportunités de se déplacer et d'interagir génétiquement. Cela peut entraîner une diminution de la diversité génétique au sein des populations, une augmentation de la consanguinité et une réduction de l'adaptabilité aux changements environnementaux.

III-2-3 Risque d'isolement et de dépression génétique

Le risque d'isolement et de dépression génétique est une préoccupation majeure associée à la fragmentation des habitats. Lorsque les populations sont isolées dans des fragments d'habitats distincts, elles sont soumises à des pressions évolutives différentes et peuvent évoluer de manière indépendante. Cela peut conduire à une perte de diversité génétique au sein de chaque population et à une augmentation de la consanguinité, ce qui augmente le risque de dépression génétique. La dépression génétique se produit lorsque la fréquence des gènes délétères augmente dans une population en raison de la consanguinité et de la perte de diversité génétique. Cela peut entraîner une diminution du fitness individuelle, une augmentation de la vulnérabilité aux maladies et aux stress environnementaux, et éventuellement l'extinction locale de la population.

Pour atténuer ce risque, il est crucial de maintenir la connectivité entre les fragments d'habitats afin de permettre les échanges génétiques entre les populations. Les corridors écologiques et d'autres stratégies de gestion de la connectivité peuvent aider à prévenir l'isolement des populations et à maintenir la diversité génétique nécessaire pour assurer la survie à long terme des espèces (Frankham,2005).

III-3 Conséquences sur la dynamique des populations :

III-3-1 Réduction de la taille des populations

La réduction de la taille des populations est un phénomène complexe influencé par divers facteurs écologiques et anthropiques. Les ressources alimentaires limitées, les changements climatiques, et les épidémies sont parmi les causes principales. Par exemple, la disponibilité en nourriture joue un rôle crucial : une diminution des ressources entraîne une hausse de la mortalité

et une baisse de la natalité, réduisant ainsi la taille des populations (Vandermeer et Goldberg, 2003). Les changements climatiques peuvent également provoquer des réductions significatives en détruisant les habitats et en modifiant les conditions de vie (Berryman, 2002). De plus, les épidémies peuvent rapidement décimer des populations entières, comme cela a été observé avec la peste noire au Moyen Âge.

III-3-2 Augmentation des risques d'extinction locale

L'augmentation des risques d'extinction locale est souvent attribuée à une combinaison de facteurs écologiques et anthropiques. Les pressions environnementales telles que la dégradation des habitats, les changements climatiques, et la surexploitation des ressources jouent un rôle crucial. Par exemple, la déforestation et l'urbanisation fragmentent les habitats naturels, isolant les populations et réduisant leur capacité à se reproduire et à survivre (Berryman, 2002).

Les changements climatiques exacerbent ces risques en modifiant les conditions environnementales nécessaires à la survie des espèces. Les températures extrêmes, les variations des précipitations, et l'élévation du niveau de la mer peuvent rendre les habitats inhospitaliers, forçant les espèces à migrer ou à s'adapter rapidement, souvent avec des succès limités (Brook, Sodhi et Bradshaw, 2008). De plus, la surexploitation des ressources, comme la pêche excessive et la chasse, diminue les populations à des niveaux critiques, augmentant leur vulnérabilité aux extinctions locales. Les espèces endémiques, ayant des aires de répartition restreintes, sont particulièrement à risque car elles n'ont pas la possibilité de se relocaliser (Primack, 2014).

III-4- Stratégie de conservation et de restauration

III-4-1 Définition des corridors écologiques :

Les corridors écologiques sont des zones de connexion entre des habitats naturels fragmentés, permettant aux espèces de se déplacer, de migrer et d'échanger des gènes. Ils favorisent ainsi la biodiversité en réduisant l'isolement des populations animales et végétales (Beier et Noss, 1998).

Rôle des corridors écologiques :

(Hilty et Merenlender, 2000)

Améliorer la dispersion des espèces :

Les corridors facilitent le déplacement des espèces, ce qui est crucial pour leur survie et leur adaptation face aux changements environnementaux.

Réduire l'effet de lisière :

En réduisant l'impact des bordures d'habitats, les corridors permettent aux espèces de bénéficier d'un environnement plus stable et moins exposé aux perturbations.

Favoriser le flux génétique :

Les corridors contribuent à maintenir un flux génétique entre les populations, ce qui est important pour prévenir la consanguinité et maintenir la diversité génétique.

Améliorer la résilience écologique :

En permettant aux espèces de se déplacer et de coloniser de nouveaux habitats, les corridors renforcent la résilience des écosystèmes face aux perturbations telles que les incendies ou les changements climatiques.

Planification et gestion des corridors écologiques :

La planification et la gestion efficaces des corridors écologiques impliquent l'identification des zones prioritaires pour la connectivité, la réduction des obstacles à la dispersion des espèces, et la collaboration entre les acteurs locaux, régionaux et nationaux (Carroll et al, 2012).

III-4-2 techniques de création et de restauration des corridors écologiques

Sont essentielles pour garantir l'efficacité de ces corridors en tant que moyens de connectivité entre les habitats naturels. Voici des informations sur ces techniques, accompagnées de références pour approfondir :

Création de corridors écologiques :(Beire et Noss,1998)

Plantation d'arbres et de végétation adaptée : La création de couvert végétal approprié le long des corridors peut fournir un habitat propice à la dispersion des espèces.

Aménagement des cours d'eau : La restauration des cours d'eau et des zones humides peut créer des corridors aquatiques importants pour de nombreuses espèces.

Aménagement des infrastructures : L'adaptation des infrastructures existantes, telles que les ponts et les tunnels, peut permettre aux animaux de traverser en toute sécurité les zones fragmentées.

Restauration des corridors écologiques :

En conclusion, la restauration des corridors écologiques, telle que décrite par Hilty et Merenlender, est une approche indispensable pour la conservation de la biodiversité dans les paysages fragmentés. Elle nécessite une planification rigoureuse, une compréhension approfondie des dynamiques écologiques et une collaboration active entre scientifiques, gestionnaires de terres et communautés locales (Hilty et Merenlender,2000)

III-4-3 Importance des corridors écologiques pour maintenir la connectivité :

Les corridors écologiques (Figure 09) jouent un rôle crucial dans le maintien de la connectivité entre les habitats naturels fragmentés. Ils fournissent des voies de déplacement sécurisées pour les espèces, ce qui leur permet de se déplacer entre différentes zones et de maintenir des populations viables. En assurant la continuité des flux génétiques et des processus écologiques, les corridors écologiques favorisent la diversité génétique, réduisent le risque d'extinction locale et permettent aux espèces de s'adapter aux changements environnementaux. En outre, les corridors écologiques peuvent offrir des avantages supplémentaires tels que la régulation des populations de prédateurs et de proies, la pollinisation des plantes, et la dispersion des graines. Leur conception et leur gestion efficaces sont donc essentielles pour assurer la santé et la résilience des écosystèmes (Beier & Noss, 1998). Les corridors écologiques peuvent jouer un rôle crucial dans la restauration de la connectivité entre les fragments d'habitats, facilitant ainsi les échanges génétiques entre les populations.

En permettant aux individus de se déplacer librement d'un habitat à l'autre, les corridors favorisent la diversité génétique et contribuent à maintenir la santé des populations à long terme. Cependant, la gestion et la conception des corridors écologiques doivent être soigneusement planifiées pour assurer leur efficacité dans la préservation des flux génétiques et des échanges entre populations (Storfer et al, 2007).



Figure 09 : corridors écologique <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/>

Rôles des corridors écologiques :

Réhabilitation des zones dégradées : La restauration des habitats dégradés le long des corridors peut améliorer la qualité de l'environnement et favoriser le déplacement des espèces.

Gestion des espèces invasives : L'élimination ou la gestion des espèces invasives peut contribuer à restaurer les conditions favorables à la biodiversité.

Surveillance et suivi : La mise en place de programmes de surveillance et de suivi permet de suivre l'efficacité des actions de restauration et d'ajuster les stratégies si nécessaire.

Utilisation de modèles de connectivité : Des outils de modélisation peuvent aider à identifier les zones prioritaires pour la création ou la restauration des corridors en fonction de la connectivité écologique.

Implémentation de mesures d'atténuation : Des mesures telles que la création de passages fauniques au-dessus ou en dessous des routes peuvent réduire les impacts négatifs des infrastructures sur la faune.

Collaboration intersectorielle : La collaboration entre les secteurs gouvernementaux, les ONG, les communautés locales et d'autres parties prenantes est essentielle pour planifier et mettre en œuvre efficacement les techniques de création et de restauration des corridors.

III-4-4 Exemples d'applications réussies de corridors écologiques :**Corridor écologique du parc Yellowstone :**

Le parc national de Yellowstone aux États-Unis a mis en place un réseau de corridors écologiques pour permettre aux grands mammifères tels que les loups, les ours et les wapitis de se déplacer entre les différentes zones du parc. Cette initiative a contribué à restaurer les interactions naturelles entre les espèces et à maintenir la diversité génétique (figure 10) (Berger et Conner, 2008).



Figure 10 : Une des passerelles fauniques du parc national de Banff. Photo: Kelly Zenkewich, Yellowstone to Yukon Conservation Initiative (Sophie,2022).

Corridor fluvial du Rhin:

Le projet de restauration du corridor fluvial du Rhin en Europe a permis de réhabiliter les zones humides le long du fleuve, créant ainsi un corridor vital pour de nombreuses espèces aquatiques et terrestres. Cela a également contribué à la régulation des crues et à la préservation des écosystèmes riverains (figure 11) (Tockner et Stanford, 2002).



Figure 11 : Corridor fluvial du Rhin (Helm, N.2022).

Corridors forestiers au Costa Rica :

Le Costa Rica a mis en place des corridors forestiers entre les aires protégées pour favoriser la migration des espèces animales, en particulier des oiseaux et des mammifères. Ces corridors ont permis de maintenir la diversité biologique malgré la fragmentation des habitats (Figure12), (Harvey et Haber,1999).

Corridor urbain à Singapour :

Singapour a développé un réseau de corridors urbains verts, comprenant des parcs, des jardins et des espaces naturels connectés, pour favoriser la mobilité des espèces et offrir des zones de refuge au sein de l'environnement urbain dense (Figure 13) (Goh et Sodhi,2006).



Figure 12 : Corridor urbain à Singapour

III-5 Politique de conservation visant à réduire la fragmentation des habitats :

III-5-1 Cadres réglementaires et législatifs pour réduire la fragmentation des habitats

Directives européennes : La Directive Habitats (92/43/CEE) vise à promouvoir le maintien de la biodiversité en prenant en compte les considérations économiques, sociales, culturelles et régionales. Elle établit le réseau Natura 2000, un ensemble de sites protégés couvrant l'Union européenne (EUR-Lex ,1992).

La Directive Oiseaux (2009/147/CE) est axée sur la protection des oiseaux sauvages et leurs habitats, contribuant ainsi indirectement à réduire la fragmentation des habitats en protégeant des zones importantes pour les espèces aviaires (EUR-Lex ,2009).

Loi sur la protection de l'environnement : En France, la Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (2016) renforce les outils de protection et de gestion des espaces naturels, incluant des mesures pour lutter contre la fragmentation des habitats, comme la création de trames vertes et bleues (République Française, 2016).

Réseaux écologiques : La mise en place de corridors écologiques est une stratégie courante pour réduire la fragmentation des habitats. Ces corridors permettent aux espèces de se déplacer librement entre différentes zones protégées, augmentant ainsi les chances de survie des populations. Les trames vertes et bleues en France sont des réseaux écologiques conçus pour préserver et restaurer les continuités écologiques sur l'ensemble du territoire (Bennett et Mulongoy, 2006).

Plans de gestion des aires protégées : De nombreux pays exigent l'élaboration de plans de gestion pour les aires protégées, qui incluent des mesures spécifiques pour limiter la fragmentation, telles que la restauration des habitats dégradés et la création de zones tampons autour des habitats sensibles (Dudley, 2008).

Politiques nationales et locales : Les politiques nationales de conservation souvent intègrent des stratégies visant à lutter contre la fragmentation. Par exemple, aux États-Unis, le Endangered Species Act comprend des dispositions pour la protection des habitats critiques.

Au niveau local, des plans d'urbanisme peuvent inclure des mesures pour conserver les habitats naturels, comme des zones de protection environnementale et des restrictions sur le développement dans des zones sensibles (Endangered Species Act of, 1973).

III-5-2-1 Schémas d'aménagement et de gestion des espaces

Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT)

En France, le SCOT est un document de planification stratégique qui fixe les grandes orientations d'aménagement et de développement durable d'un territoire. Il intègre des préoccupations environnementales et vise à coordonner les politiques publiques en matière d'urbanisme, de mobilité, et de protection des espaces naturels. Le SCOT prend en compte la préservation des corridors écologiques et des réservoirs de biodiversité, assurant une approche globale et cohérente du territoire (Ministère de la Transition écologique, 2024).

Plan Local d'Urbanisme (PLU)

Le PLU est un document réglementaire à l'échelle communale ou intercommunale qui définit les règles d'utilisation des sols. Il peut inclure des zonages spécifiques pour la protection de la biodiversité, comme les zones naturelles et les zones agricoles. Il peut aussi intégrer des prescriptions pour maintenir ou restaurer des continuités écologiques, telles que les trames vertes et bleues (Plan Local d'Urbanisme (PLU)).

III-5-2-2 Identification et cartographie des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques**Trame verte et bleu**

La TVB est un réseau formé de corridors écologiques terrestres (trame verte) et aquatiques (trame bleue). Elle vise à maintenir et restaurer les continuités écologiques pour permettre aux espèces de se déplacer et de se reproduire. La TVB est identifiée et cartographiée à différentes échelles (nationale, régionale, locale) pour guider les décisions d'aménagement du territoire (TVB) (Agence Française pour la Biodiversité).

Zones Natura 2000

Natura 2000 est un réseau de sites naturels protégés à l'échelle européenne, visant à assurer la survie à long terme des espèces et des habitats les plus menacés. Les sites sont identifiés sur la base de critères scientifiques et font l'objet de plans de gestion spécifiques. La cartographie des sites Natura 2000 aide à planifier les activités humaines de manière à minimiser les impacts sur la biodiversité (Natura 2000 de l'Union européenne).

Inventaires et cartographies de biodiversité

Les inventaires de biodiversité (par exemple, les inventaires forestiers ou les inventaires des zones humides) fournissent des données précieuses pour la planification. Ces données permettent d'identifier les réservoirs de biodiversité, c'est-à-dire les zones à haute valeur écologique.

Les technologies de télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont largement utilisés pour cartographier et analyser les habitats naturels, facilitant une planification plus précise et efficace (Guidelines for biodiversity inventory and monitoring).

III-5-3-1 Classements de protection des espaces

Réserves naturelles

Réserves naturelles nationales (RNN) et réserves naturelles régionales (RNR) en France sont des espaces protégés pour conserver des habitats, des espèces, ou des formations géologiques remarquables. Les activités humaines y sont strictement régulées pour prévenir toute perturbation des écosystèmes. Les réserves naturelles bénéficient de mesures de protection renforcées et de plans de gestion spécifiques pour maintenir ou restaurer les conditions naturelles.

Parcs nationaux :

Les parcs nationaux sont des zones protégées d'intérêt national, destinées à la conservation de la biodiversité et des paysages exceptionnels. En Algérie, les 11 parcs nationaux comportent une "zone cœur" où les activités sont très limitées et une "zone d'adhésion" où le développement durable est encouragé. La réglementation dans les parcs nationaux inclut des restrictions sur la construction, l'exploitation des ressources naturelles, et d'autres activités pouvant nuire aux écosystèmes.

Parcs naturels régionaux (PNR)

Les PNR sont des territoires ruraux habités, reconnus pour leur patrimoine naturel et culturel. Ils sont gérés de manière à concilier la protection de l'environnement, le développement économique, et la qualité de vie des habitants. Les PNR mettent en place des chartes de parc qui incluent des mesures de protection de la biodiversité et des paysages, tout en favorisant un développement territorial durable.

Sites Natura 2000

Natura 2000 est un réseau de sites protégés à l'échelle européenne, visant à préserver les habitats et les espèces d'intérêt communautaire. Les sites Natura 2000 sont désignés selon deux directives européennes : la Directive Oiseaux et la Directive Habitats. Les sites Natura 2000 font l'objet de documents d'objectifs (DOCOB) qui définissent les mesures de gestion nécessaires pour maintenir ou restaurer les habitats et les espèces dans un état de conservation favorable (Natura 2000 Network).

III-5-3-2 Réglementation de l'urbanisation et des activités en zones sensibles

Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) Les PLU sont des documents de planification urbaine qui réglementent l'utilisation des sols à l'échelle communale ou intercommunale. Ils peuvent inclure des zonages spécifiques pour protéger les espaces naturels et agricoles. Les PLU peuvent imposer des règles strictes en matière de construction, de densité urbaine, et de préservation des corridors écologiques et des zones sensibles (Ministère de la Transition Écologique).

Zones de Protection Spéciale (ZPS) et Zones Spéciales de Conservation (ZSC)

Les ZPS et ZSC sont des désignations spécifiques au sein du réseau Natura 2000, établies respectivement par la Directive Oiseaux et la Directive Habitats. Elles bénéficient de mesures de gestion spécifiques pour protéger les espèces et habitats concernés. Les activités humaines dans ces zones sont réglementées pour éviter toute dégradation de l'habitat, incluant des restrictions sur l'exploitation forestière, la construction, et certaines pratiques agricoles (Commission européenne).

Sites classés et inscrits

En France, les sites classés et inscrits sont des espaces protégés pour leur intérêt paysager, historique, ou scientifique. Les sites classés bénéficient de protections légales strictes, incluant des restrictions sur les travaux et les modifications du paysage. Les sites inscrits ont un niveau de protection moins strict mais nécessitent des autorisations spécifiques pour certains types de travaux ou d'aménagements (Ministère de la Culture).

III-5-4-1 Création et entretien de corridors biologiques

Haies et bandes boisées

Les haies et les bandes boisées servent de corridors biologiques permettant aux espèces de se déplacer entre des habitats fragmentés. Elles fournissent également des abris, des sites de nidification et des sources de nourriture. L'entretien de ces structures naturelles inclut la plantation d'espèces indigènes, la taille régulière pour maintenir la densité et la diversité végétale, et la création de micro-habitats pour diverses espèces (Agence Française pour la Biodiversité).

Rivières et zones humides

Les cours d'eau et les zones humides jouent un rôle clé en tant que corridors écologiques pour les espèces aquatiques et terrestres. Leur restauration peut inclure le rétablissement des lits de rivières naturels, la renaturation des berges, et la création de mares et de marécages. La gestion de ces corridors comprend la surveillance de la qualité de l'eau, la lutte contre les espèces invasives, et la régulation des usages humains tels que l'agriculture et l'urbanisation à proximité (Office français de la biodiversité).

III-5-4-2 Reconstitution d'habitats dégradés ou fragmentés

Restaurations écologiques

La restauration écologique vise à rétablir les conditions naturelles des habitats dégradés ou fragmentés. Cela peut inclure des actions telles que la reforestation, la restauration des prairies, et la réintroduction d'espèces indigènes. Des techniques spécifiques comme le génie écologique, qui utilise des méthodes naturelles pour stabiliser les sols, purifier l'eau, et reconstituer la végétation, sont souvent employées (Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité).

Déminéralisation et reforestation urbaine

En milieu urbain, la déminéralisation (remplacement de surfaces imperméables par des espaces verts) et la reforestation urbaine aident à créer des îlots de biodiversité et des corridors verts. Ces espaces peuvent inclure des parcs, des toits verts, et des jardins communautaires. Les initiatives de reforestation urbaine peuvent être soutenues par des politiques locales visant à

augmenter la couverture végétale et à intégrer la nature dans le tissu urbain (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)).

III-5-4-3 Gestion adaptative des espaces naturels

Plans de gestion adaptative La gestion adaptative des espaces naturels repose sur une approche flexible qui s'ajuste en fonction des résultats obtenus et des changements environnementaux. Cela implique une surveillance continue, l'évaluation des actions de gestion, et l'ajustement des stratégies en conséquence. Par exemple, dans les réserves naturelles, les gestionnaires peuvent modifier les pratiques de pâturage, de coupe de bois, ou de contrôle des espèces invasives en réponse aux observations sur le terrain.

Participation communautaire Impliquer les communautés locales dans la gestion des espaces naturels est essentiel pour une gestion durable. Les programmes de science citoyenne, les groupes de conservation, et les initiatives locales peuvent aider à surveiller la biodiversité, à restaurer les habitats, et à sensibiliser le public. La gestion participative permet de tirer parti des connaissances locales et de garantir un soutien à long terme pour les efforts de conservation (Ministère de la Transition écologique et solidaire).

III-5-5-1 Programmes de préservation de la biodiversité

Les programmes de préservation de la biodiversité sont essentiels pour protéger les écosystèmes à différentes échelles, que ce soit au niveau local, régional ou national. À l'échelle locale, ces programmes peuvent impliquer la création de réserves naturelles, la restauration des habitats locaux et la sensibilisation communautaire à la protection de la biodiversité. Au niveau régional, la coopération entre différentes régions géographiques peut être essentielle pour la préservation des corridors biologiques et des habitats partagés par plusieurs espèces. À l'échelle nationale, les gouvernements peuvent mettre en place des politiques de conservation, des lois et des réglementations pour protéger les espèces en voie de disparition, gérer les zones protégées et promouvoir une utilisation durable des ressources naturelles.

Ces programmes s'appuient sur des données scientifiques, des connaissances traditionnelles et des pratiques de gestion adaptative pour assurer une protection efficace de la biodiversité. Par exemple, des études de suivi écologique et des évaluations de l'état de santé des écosystèmes

peuvent aider à identifier les zones prioritaires pour la conservation et à orienter les actions de gestion (Martha et al,2004)

III-5-5-2 Implication des acteurs locaux dans la préservation des corridors

Collectivités territoriales :

Les autorités locales, telles que les municipalités et les gouvernements régionaux, sont souvent responsables de la gestion des territoires où se trouvent les corridors biologiques. Leur implication peut inclure l'élaboration et la mise en œuvre de plans d'aménagement du territoire qui intègrent la préservation des corridors biologiques, ainsi que la fourniture de ressources financières et humaines pour soutenir les projets de conservation.

Associations et ONG : Les organisations non gouvernementales et les associations locales jouent un rôle crucial en mobilisant les communautés locales, en sensibilisant aux enjeux de conservation et en mettant en œuvre des projets sur le terrain. Elles peuvent également jouer un rôle de plaidoyer en faveur de politiques et de mesures de conservation plus efficaces.

Partenariats publics-privés : Les partenariats entre les secteurs public et privé peuvent être très efficaces pour financer et mettre en œuvre des initiatives de conservation des corridors biologiques. Les entreprises privées peuvent apporter des ressources financières, des compétences techniques et des innovations, tandis que les organismes gouvernementaux peuvent fournir un cadre réglementaire et des incitations fiscales pour encourager les pratiques de conservation. Ces acteurs travaillent souvent en collaboration pour identifier les corridors biologiques prioritaires, élaborer des plans de gestion, surveiller les populations d'espèces clés et mettre en œuvre des mesures de restauration. Leur engagement et leur coopération sont essentiels pour assurer la connectivité des habitats et la survie à long terme de la biodiversité (Van Dyke,2008).

III-5-5-3 Initiatives internationales et nationales de conservation

Initiatives internationales

Convention sur la diversité biologique (CDB) : La CDB est un traité international visant à conserver la biodiversité, à utiliser durablement ses composants, et à partager équitablement les avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques.

Programme de l'UNESCO sur l'Homme et la biosphère (MAB) : Ce programme encourage une approche intégrée de la conservation et du développement durable en créant des réserves de biosphère à travers le monde.

Réseau Natura 2000 : En Europe, Natura 2000 est le plus grand réseau de zones protégées au monde, visant à préserver les habitats et les espèces d'intérêt communautaire (Martha et al,2004).

Initiatives nationales

Stratégies nationales de conservation de la biodiversité : De nombreux pays ont développé leurs propres stratégies nationales pour la conservation de la biodiversité, qui définissent les objectifs et les actions spécifiques pour protéger les écosystèmes, les espèces et les habitats menacés.

Parcs nationaux et réserves naturelles : Les gouvernements nationaux établissent et gèrent des aires protégées telles que les parcs nationaux et les réserves naturelles pour préserver des habitats naturels importants et protéger les espèces menacées (Martha et al,2004)

III-6 Concepts et application :

III-6-1 Concepts et définitions

L'idée de connectivité des habitats est relativement récente et émerge principalement de l'écologie du paysage. Selon lui, la fragmentation des paysages accentue les mouvements des individus entre les différentes zones d'habitat, tant pour garantir la survie individuelle que pour assurer la survie collective. La reproduction, l'alimentation et le repos sont des éléments essentiels pour maintenir les échanges génétiques entre les différentes populations (métapopulations). Il n'est possible de définir la connectivité que du point de vue de l'espèce, dans la mesure où elle découle de l'interaction entre une espèce et le paysage qu'elle fait partie. Le niveau de connectivité d'un paysage diffère en fonction de l'espèce en question et de sa capacité à l'utiliser, ainsi que de la composition et de la configuration spatiale des habitats. Pour une espèce à faible capacité de dispersion, un paysage donné n'aura pas la même connectivité que pour une espèce à forte capacité ; par exemple, une espèce forestière aura plus de difficultés à traverser un paysage composé d'habitats d'agriculture intensive qu'un paysage composé d'habitats avec des éléments boisés. Malgré l'importance des questions liées à la connectivité (recherche de patrons et de processus,

fonctionnement des populations), celles-ci ont généralement pour particularité d'être axées sur la préservation et la gestion des habitats et des espèces, et les études sur la connectivité sont souvent très appliquées (Avon et Bergès ;2014).

La fragmentation est, par définition, un processus qui fragmente une entité continue en fragments (ou taches) de taille différente, plus ou moins éloignés les uns des autres, ce qui diminue la surface totale de l'habitat par rapport à sa surface initiale. La fragmentation, en plus de la perte d'habitats, a de multiples conséquences sur la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes et des populations qui les constituent. Les grandes espèces, en particulier les prédateurs, ont tendance à disparaître en premier, ce qui entraîne une diminution ou une augmentation du nombre d'espèces, ainsi que des changements dans l'habitat par effet de marges, etc. (Mathevet, et al, 2010).

III-6-2 Corridor

Le passage étroit qui relie différentes pièces d'une maison est également connu sous le nom de "passage étroit entre deux territoires" (Larousse). Dans le domaine de l'écologie du paysage, corridor est généralement utilisé pour désigner toute structure paysagère qui permet de relier fonctionnellement des écosystèmes ou des habitats d'une espèce ou d'un groupe d'espèces interdépendantes, facilitant ainsi leurs déplacements, leurs migrations et leur dispersion. Grâce aux corridors, les populations et les gènes circulent librement, ce qui est essentiel pour la survie des espèces et leur évolution adaptative. Ainsi, ils jouent un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité et la survie à long terme de la majorité des espèces.

Il est tendance à distinguer :

- le corridor biologique, propre à une espèce donnée, y compris du point de vue des échanges génétiques ;
- le corridor écologique, structure spatiale multifonctionnelle, qui peut regrouper plusieurs corridors biologiques ;

Le corridor biologique est souvent lui-même un milieu vivant, habité par des espèces et défini par des caractéristiques géomorphologiques et physiques, peut être « immatériel » (odeur de l'eau qui guide le saumon dans la mer vers la source de sa rivière natale). Dans tous les cas, ce sont bien les fonctions qu'il offre aux espèces qui justifient son nom (Gerbeaud-Maulin et Long, 2008).

La connectivité écologique est un concept essentiel en conservation de la nature. En obligeant les acteurs de la conservation à la promouvoir sur leurs territoires, il est possible de maintenir une certaine flexibilité des réglementations, notamment face au changement climatique. La connectivité écologique englobe les éléments linéaires terrestres tels que les haies, talus ou autres structures sur les terres agricoles ou non, ainsi que la restauration des continuités pour les écosystèmes d'eau douce et les voies de migration côtière.

Cette approche offre également aux autorités locales la possibilité de faire des choix pour préserver les éléments du paysage sur leur territoire, tout en s'éloignant de l'idée que créer des corridors écologiques se résume à établir des zones protégées linéaires (Bonnin, 2008).

Ainsi, en reconnaissant l'importance de la connectivité écologique et en l'intégrant aux politiques de conservation, on peut s'adapter plus facilement aux enjeux environnementaux, tout en laissant une marge de manœuvre aux acteurs locaux. (Bonnin, 2008).

III-6-3 Ses application

Ces corridors ont un rôle dans les échanges biologiques entre les taches, mais pour une espèce ou un groupe d'espèces donné : les éléments structuraux qui servent de corridors aux grands mammifères ne sont pas utilisés de la même manière par des petits rongeurs ou des insectes.

Les corridors utilisés par les espèces varient en fonction de leur capacité de déplacement (mode de locomotion ou vitesse) et des contraintes d'habitat (humidité pour les batraciens). Certains corridors sont des lieux de vie pour certaines espèces, tandis que d'autres sont des obstacles infranchissables. Les valeurs d'une même réalité géographique peuvent donc varier en fonction des espèces ; le concept de corridor a une dimension plus fonctionnelle que structurelle (Clergeau et Désiré, 1999). Cependant, les chemins biologiques jouent un rôle crucial dans la faune et la flore pour prévenir l'isolement des populations, les disparitions sans possibilité de recolonisation et garantir un mélange génétique optimal, réduisant ainsi les diminutions de fertilité et la sensibilité aux maladies. Bien que les corridors biologiques contribuent au maintien de la biodiversité, ils ne compensent pas les pertes d'habitat causées par l'homme.

Les corridors écologiques peuvent prendre différentes formes. Ils peuvent être linéaires, c'est-à-dire en ligne droite et de largeurs variables, ou de type paysage, c'est-à-dire multidirectionnels au sein d'une mosaïque d'écosystèmes, souvent beaucoup plus larges.

On peut également classer les corridors biologiques en fonction de leur état et de leur origine :

Naturels : corridors présents à l'état naturel.

Cultivés : corridors créés par l'activité humaine, comme des haies, des bordures de champs, etc.

Régénérés : corridors qui se sont reconstitués naturellement après une perturbation.

Actifs : corridors entretenus et gérés activement.

Par exemple, une lisière boisée le long d'un cours d'eau après une coupe forestière peut être considérée comme un corridor restant, de type régénéré. Ce type de corridor est fréquent au Québec, car requis par la réglementation forestière.

Ces différentes appellations permettent de classer et de comparer les corridors écologiques entre eux, selon leurs caractéristiques (Bouffard, 2008).

En effet, ces corridors peuvent être très perturbés et envahis par des espèces exotiques dans certains milieux. De nombreuses voies de pénétration d'espèces sont également fréquemment compétitives. Par exemple, la route constitue un risque potentiel de collisions pour les espèces qui utilisent les bords de la route comme voie de déplacement. Toutefois, les espèces plus vulnérables ne se lancent pas dans ce genre de chemin. Les gazoducs et les lignes de transport d'énergie au Québec sont des espaces ouverts appréciés par la grande faune, comme le caribou et l'orignal. Cependant, ces corridors présentent des risques car ils se trouvent souvent à proximité d'infrastructures routières avec lesquelles ils s'intercalent (Bouffard, 2008).

Chapitre IV : Etude de cas

IV-1 Fragmentation de l'habitat du géants panda dans le sud-ouest de la Chine (Monts Qionglai)

L'étude de l'habitat a des implications importantes pour comprendre les besoins en ressources et les menaces qui pèsent sur l'oursidé le plus menacé au monde, le panda géant (*Ailuropoda melanoleuca*) (fig. 1) (Hull et al, 2014). Les pandas géants vivent actuellement dans les forêts du sud-ouest de la Chine. Ils font partie de systèmes couplés entre l'homme et la nature (Liu et al ,2007), L'impact de l'homme a relégué les 1 600 pandas géants sauvages restants à de petites zones fragmentées totalisant environ 21, 300 km² (Hull et al, 2014). Les pandas étaient autre fois répartis dans les basses terres de l'ouest de la Chine, mais ils sont aujourd'hui limités à une fraction de leur aire de répartition historique dans 6 zones fragmentées (Wei et al ,2012). Des études antérieures ont indiqué que les activités humaines et l'urbanisation ont un effet néfaste sur les pandas géants (Xu et al, 2006). Lu et al, (2019) ont évalué l'impact des activités humaines sur le déplacement des espèces dans les zones montagneuses et comment intégrer différents modèles de conservation liés à l'identification des corridors de conservation, dans cette étude, l'intégration du modèle de résistance, du modèle de circuit et de l'algorithme LCP pourrait permettre d'identifier des corridors pour le panda géant en réponse aux changements des activités humaines dans les montagnes de Qionglai.

Un réseau a été mis en place pour protéger les pandas géants dans les zones de conservation de Wolong, Kaupo et Miaru. L'étude a montré que l'activité humaine affecte les animaux clés de la vallée, tandis que les modèles intégrés présentent de plus grands avantages pour la planification des corridors de conservation dans les zones montagneuses. Ces outils peuvent aider à identifier les obstacles entre les réserves naturelles et proposer des solutions pour améliorer la connectivité. Dans l'ensemble, ces approches constituent une méthode efficace pour identifier les réseaux de conservation dans les zones montagneuses, en tenant compte des changements dynamiques dans les menaces environnementales associées à un développement socio-économique rapide.



Figure 13. Giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*), (pixabay.com,16/05/2024)

Et pour finir la planification des corridors de conservation doit être périodiquement en raison de l'évolution des facteurs de des facteurs de menace, tels que les établissements humains, les routes, etc. En plus de notre étude, plusieurs corridors de conservation ont été étudiés d'identification et d'optimisation des corridors pour le panda ont été réalisées dans la chaîne de montagnes Qionglai (Wang et al, 2014).

IV-2 Connectivité du tigre in Inde :

Le tigre (*Panthera tigris*) est une espèce clé de voûte qui représente les défis auxquels sont confrontées de nombreuses espèces de grands carnivores dans le monde : Petites communautés isolées dans des habitats fragmentés, diminution de l'habitat, commerce illégal de parties de leur corps, braconnage et conflits avec l'homme, pour n'en citer que quelques-uns. Comme beaucoup d'autres espèces de grands carnivores, les communautés de tigres se limitent à de petites zones protégées qui ne suffisent pas à leur survie à long terme (Dutta et al, 2016). L'aire de répartition actuelle du tigre représente environ 7 % de son aire de répartition historique et, en l'espace d'une décennie seulement, la superficie des terres occupées par le tigre a diminué de 41% (Dinerstein et al, 2007).

Dans cette étude, les chercheurs (Dutta et al, (2016) ont évalué la connectivité entre 16 zones protégées du centre de l'Inde, une zone prioritaire au niveau mondial pour la conservation des tigres, en utilisant des données sur l'utilisation et la couverture des terres, la densité de la

population humaine et les infrastructures de transport. Nous avons identifié et hiérarchisé les itinéraires de déplacement en combinant la modélisation des corridors à moindre coût.

Les forêts indiennes ont subi d'importantes pertes : De 89 millions d'hectares en 1880 à 63 millions d'hectares en 2010 (Tian et al, 2014), de nombreuses zones forestières ont été converties à l'agriculture c'est la principale raison pour laquelle les tigres ne communiquent pas, ils dépendent de forêts où la densité des proies est élevée et où les perturbations humaines sont minimales.

Les analyses suggèrent qu'il existe de nombreuses possibilités de maintenir la connectivité dans ces paysages :

La persistance à long terme des espèces dans les paysages fragmentés dépend de la réussite des déplacements des individus entre les parcelles d'habitat (Thomas 2000) Malgré les impacts de l'utilisation des terres et des changements de la couverture végétale, la forte densité de population humaine et les réseaux de transport étendus, il existe des sections de forêt le long desquelles nous avons trouvé des opportunités de connectivité entre les aires protégées du centre de l'Inde. La plupart de ces liens suivent des étendues de forêts et de collines, et des résultats antérieurs suggèrent que les corridors sont fonctionnels pour maintenir le flux génétique des grands carnivores dans ce paysage (Dutta et al, 2016). Comme conclusion de nombreuses pressions sont exercées sur les zones forestières pour être utilisées à d'autres fins, en raison de la quantité limitée de terres et de l'augmentation démographique. Maintenir les voies de déplacement de la faune dans un environnement dominé par l'homme est difficile. Les cartes de connectivité peuvent aider à soutenir les choix de gestion et de conservation. Maintenir une population autonome et saine de tigres et d'autres espèces nécessite la conservation d'un paysage bien connecté d'aires protégées. Des stratégies de gestion en dehors des aires protégées et l'augmentation du nombre de tigres sont essentielles pour promouvoir la dispersion des populations.

Conclusion

Conclusion :

En conclusion, l'étude des différents types d'activités humaines et de leur impact sur la fragmentation des habitats révèle des implications profondes pour la conservation de la biodiversité et la gestion durable des écosystèmes. L'urbanisation et l'expansion urbaine, en particulier, ont des effets significatifs sur la fragmentation des habitats. L'extension des zones urbaines transforme les paysages naturels en environnements artificiels, créant des barrières physiques et écologiques qui isolent les populations d'espèces et réduisent la connectivité des habitats.

En somme, Le premier chapitre a mis en lumière l'impact de diverses activités humaines sur la fragmentation des habitats, en soulignant comment l'urbanisation croissante restreint et fragmente les habitats disponibles pour la faune et la flore, entraînant une diminution de la diversité biologique. Les infrastructures urbaines, telles que les routes et les voies ferrées, agissent comme des obstacles physiques, entravant les déplacements des animaux et perturbant la connectivité des habitats. De plus, les collisions avec des véhicules et les barrages sur les rivières représentent des menaces directes et indirectes pour la faune, exacerbant la perte de biodiversité et la perturbation des écosystèmes. L'agriculture intensive et l'exploitation forestière transforment et fragmentent également les habitats naturels, compromettant la diversité génétique et la connectivité des paysages.

Le deuxième chapitre, quant à lui, s'est concentré sur les méthodes pour mesurer la connectivité écologique, divisées en indices de fragmentation des habitats et analyses coûts-déplacements. Les indices spatiaux évaluent la distribution et la forme des habitats, tandis que les analyses coûts-déplacements examinent la facilité de déplacement à travers les obstacles. Les indices tels que l'IIC et le PC prennent en compte la taille des zones et la probabilité de dispersion, offrant ainsi des outils précieux pour évaluer et améliorer la connectivité des habitats. Les outils géospatiaux, tels que Conefor et les SIG, permettent de cartographier les habitats et d'évaluer les liens entre les zones, essentiels pour la conservation.

Le chapitre 3 traite des effets de la fragmentation des habitats sur les corridors écologiques et la mobilité des espèces. Il évalue les fonctions et les impacts des corridors naturels sur la biodiversité. La fragmentation des habitats influence les déplacements des animaux, avec des effets directs et indirects sur la diversité et les flux d'espèces. La perte d'habitat conduit à l'isolation des populations, affectant la biodiversité et nécessitant des

Conclusion

stratégies de conservation comme la protection et l'extension des habitats naturels. Le chapitre explore également les implications environnementales, la conception des corridors biologiques et les politiques de conservation pour minimiser la fragmentation.

Le chapitre 4 présente deux études de cas sur la fragmentation de l'habitat des pandas géants en Chine et la connectivité des tigres en Inde. La fragmentation de l'habitat des pandas géants, due aux activités humaines, les confine à de petites zones isolées, limitant leur répartition historique. Des modèles de conservation intégrés sont proposés pour améliorer les corridors de migration dans les monts Qionglai. Pour les tigres en Inde, l'étude montre que la perte de forêts et la fragmentation de l'habitat affectent leur connectivité. Des corridors de migration sont identifiés pour favoriser la dispersion et le maintien de la population des tigres. Les deux études soulignent l'importance de planifier et d'adapter les stratégies de conservation face aux menaces environnementales et au développement humain.

L'avenir de notre biodiversité dépend de notre capacité à comprendre les impacts des activités humaines sur les habitats naturels et à mettre en œuvre des solutions efficaces pour maintenir et restaurer la connectivité écologique. La conservation de la biodiversité n'est pas seulement une question environnementale, mais aussi une nécessité pour le bien-être humain et la durabilité de notre planète.

References

References

Abujanra, F., Agostinho, A. A., et Hahn, N. S. (2009). Effects of the flood regime on the body condition of fish of different trophic guilds in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69, 469-479. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300003>

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). "La nature en ville : déminéralisation et reforestation urbaine".

Agence Française pour la Biodiversité. "Haies et Bandes Boisées".

Agence Française pour la Biodiversité. "Qu'est-ce que la Trame verte et bleue?".

Andreas, S., et Lennart, F. (2006). Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. COST-341 *national state-of-the-art report Sweden*. VTI rapport, (R530A).

Anne (2022). Impacts de l'agriculture sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (*Encyclopédie de l'environnement*).

Avon, C., et Bergès, L. (2014). Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats. In *Irstea, Projet J Diacofor-Convention cadre Irstea-MEDDE DEB (2012-2014)*.

Avon, C., et Bergès, L. (2014). Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats. In *Irstea, Projet J Diacofor-Convention cadre Irstea-MEDDE DEB (2012-2014)*.

Avon, C., et Bergès, L. (2014). Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats. In *Irstea, Projet J Diacofor-Convention cadre Irstea-MEDDE DEB (2012-2014)*.

Balent, G., et Deconchat, M. (1996). Biodiversité et forêt dans un paysage agricole. Étude bibliographique. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 15-36.

Bennett, G., et Mulongoy, K. J. (2006). Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. In *Secretariat of the convention on biological diversity, Montreal, Technical Series* (Vol. 23, p. 100).

References

- Berch, N., Seraoui, W., et Blibli, M. E. (2018). Biodiversité comme processus de requalification du littoral : Cas du front de mer de Jijel (*Doctoral dissertation*, Université de Jijel).
- Bhardwaj M, Olsson M, Seiler A (2020). Ungulate use of non-wildlife underpasses. *Journal of Environmental Management* .Vol 273.
- Bogaert, J. (2003). Lack of agreement on fragmentation metrics blurs correspondence between fragmentation experiments and predicted effects. *Conservation Ecology*, 7(1).
- Bonhomme, M. (2012). Création d'un outil d'aide à la décision pour un aménagement durable des espaces verts dans les municipalités (*Doctoral dissertation*, Université de Sherbrooke.).
- Bonnin, M. (2008). Prospective juridique sur la connectivité écologique. *Revue juridique de l'environnement*, 33(1), 167-178.
- Branquinho, A., et Brito, D. (2016). Impact of dams on global biodiversity: A scientometric analysis. *Neotropical Biology and Conservation*, 11(2), 101.
- Bredenhand, E., et Samways, M. J. (2009). Impact of a dam on benthic macroinvertebrates in a small river in a biodiversity hotspot: Cape Floristic Region, South Africa. *Journal of Insect Conservation*, 13, 297-307.
- Bunnell FL (1999) Let's kill a panchreston: Giving fragmentation meaning. In: Rochelle JA, Lehmann LA, and Wisniewski J (eds.) *Forest Fragmentation: Wildlife and Management Implications*, pp. vii–xiii. Leiden, The Netherlands: Koninklijke Brill NV.
- Burel, F., et Baudry, J. (1999). *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, 359.
- Carsignol J., 2012, "Passages à faune, trame verte et bleue, statut de l'animal sauvage", colloque Cohabitation hommes – faune sauvage, vendredi 27 janvier 2012, université Paul Verlaine de Metz
- Clark, N. J., Gordos, M. A., et Franklin, C. E. (2009). Implications of river damming: the influence of aquatic hypoxia on the diving physiology and behaviour of the endangered Mary River turtle. *Animal Conservation*, 12(2), 147-154. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2009.00234.x>

References

Clergeau, P., & Désiré, G. (1999). Biodiversité, paysage et aménagement: du corridor à la zone de connexion biologique. *Mappemonde*, 55(3), 19-23.

Commission européenne. "Natura 2000 Network - Special Protection Areas (SPAs) and Special Areas of Conservation(SACs)".

Commission européenne. "Natura 2000 Network".

Correa Ayram, C. A., Mendoza, M. E., Etter, A., et Salicrup, D. R. P. (2016). Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications. *Progress in Physical Geography*, 40(1), 7-37.

Crowley, J. M. (1986). *Landscape Ecology*, by RTT Forman et M. Godron. John Wiley & Sons, 605 Third Avenue, New York, NY 10158, USA: xix+ 620 pp., figs & tables, 24× 17× 3.5 cm, hardbound, US \$38.95, 1986. *Environmental Conservation*, 16(1), 90-90.

D'Ambly, M., et Poiret, A. (2021) "Passages For Wildlife! How To Reduce The Dramatic Effect Of Roads On Biodiversity" *E the environmental magazin* 501(c)

De l'environnement, n. E. (2010). Recherche d'intérêt général et pluridisciplinaire relative aux choix et au calcul d'indicateurs de fragmentation du territoire en région wallonne.

de L'Estoile, É., & Oudot, J. (2020). La transition écologique, de Rob Hopkins au ministère. *Regards croisés sur l'économie*, 26(1), 14-19.

Des propriétaires fonciers à la rescousse de la biodiversité ; RaDIO-canada,2023

Dinerstein E, Loucks C, Wikramanayake E, Ginsberg J, Sanderson E, Seidensticke J, Forrest J, Bryja G, Heydlauff A, Klenzendorf S, Leimgruber P, Mills J, O'Brien TJ, Shrestha M, Simons R, Songer M (2007) The fate of wild tigers. *Bioscience* 57:508–514.

DU TEMPS, B. A. A. C., et FAVOREL, D. (2016). ANALYSE DE LA FRAGMENTATION ET DE LA CONNECTIVITÉ EN FORÊT.

Dudley, N. (Ed.). (2008). *Guidelines for applying protected area management categories*. Iucn.

References

Dutoit, T. (2011). La Société internationale pour la restauration écologique, une association pour promouvoir la restauration des écosystèmes au niveau mondial. *Sciences Eaux & Territoires*, (2), 6-9.

Dutta, T., Sharma, S., McRae, B. H., Roy, P. S., et DeFries, R. (2016). Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India. *Regional Environmental Change*, 16, 53-67. <http://doi.org/10.1007/s10113-015-0877-z>

Egger, G., Politti, E., Woo, H., Cho, K. H., Park, M., Cho, H., ... et Lee, H. (2012). Dynamic vegetation model as a tool for ecological impact assessments of dam operation. *Journal of Hydro-environment Research*, 6(2), 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2012.01.007>

EUR-Lex .Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (Codified version)

EUR-Lex. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.

Ewers, R. M., et Didham, R. K. (2007). Habitat fragmentation : panchreston or paradigm ? *Trends in Ecology & Evolution*, 22(10), 511.

Favorel, D. (2016). Analyse de la fragmentation et de la connectivité en forêt boréale aménagée au cours du temps (*Doctoral dissertation*, Université du Québec à Montréal).

FEARNSIDE, P. M. 1995. Hydroelectric Dams in the Brazilian Amazon as Sources of “greenhouse” gases. *Environmental Conservation*, 22(1):7-19. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892900034020>

FEARNSIDE, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil’s Tucuruí dam) and the energy policy implications *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1):69-96. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012971715668>

FEARNSIDE, P.M. 2005. Brazil’s Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management*, 35(1):1-19. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-004-0100-3>

References

- Foltête, J. C., Berthoud, G., Aguejidad, R., et Clauzel, C. (2022). Assessing the structural connectivity of urban green spaces using a multi-scale approach. *Landscape and Urban Planning*, 217, 104271.
- Fortuna, M. A., Gómez-Rodríguez, C., et Ba compte, J. (2006). Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1592), 1429-1434.
- Gauld, N. R., Campbell, R. N. B., et Lucas, M. C. (2013). Reduced flow impacts salmonid smolt emigration in a river with low-head weirs. *Science of the total environment*, 458, 435-443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.063>
- Gerbeaud-Maulin, F., et Long, M. (2008). La fragmentation des milieux naturels. Tome 1—Etat de l’art en matière d’évaluation de la fragmentation des milieux naturels. *Direction régionale de l’environnement de Provence-Alpes-Côte d’Azur*.
- Gerecht, K. E., Cardenas, M. B., Guswa, A. J., Sawyer, A. H., Nowinski, J. D., et Swanson, T. E. (2011). Dynamics of hyporheic flow and heat transport across a bed- to- bank continuum in a large regulated river. *Water Resources Research*, 47(3). <http://dx.doi.org/10.1029/2010WR009794>
- Gerecht, K. E., Cardenas, M. B., Guswa, A. J., Sawyer, A. H., Nowinski, J. D., & Swanson, T. E. (2011). Dynamics of hyporheic flow and heat transport across a bed- to- bank continuum in a large regulated river. *Water Resources Research*, 47(3). <https://doi.org/10.1029/2010WR009794>
- Girvetz, E. H., Thorne, J. H., Berry, A. M., et Jaeger, J. A. (2007). Integrating habitat fragmentation analysis into transportation planning using the effective mesh size *landscape metric*.
- Girvetz, E. H., Thorne, J. H., Berry, A. M., et Jaeger, J. A. (2007). Integrating habitat fragmentation analysis into transportation planning using the effective mesh size *landscape metric*. P 281-293

References

- Goudard, A. (2007). Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions interspécifiques (*Doctoral dissertation*, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- Gülçin, D., et van Den Bosch, C. C. K. (2021). Assessment of above-ground carbon storage by urban trees using LiDAR data: The case of a university campus. *Forests*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.3390/f12010062>
- Gunkel, G. 2009. Hydropower - A Green Energy? Tropical Reservoirs and Greenhouse Gas Emissions. *CLEAN - Soil, Air, Water*,37(9):726-734. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.200900062>
- Gupta A., et Sharma, M. (2020). Consequences of Urbanization on Wildlife Survival in India and USA–Relevance of Adoption of Legislations. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3642381>
- Gustafson, E. J., et Parker, G. R. (1992). Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape ecology*, 7, 101-110.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... et Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.
- Herrault, P. A. (2015). Extraction de fragments forestiers et caractérisation de leurs évolutions spatio-temporelles pour évaluer l'effet de l'histoire sur la biodiversité: une approche multi-sources (*Doctoral dissertation*, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Hooftman, D. A., et Bullock, J. M. (2021). Mapping functional connectivity for biodiversity conservation: Current practice and future directions. *Biological Conservation*, 255, 108983.
- Hooten, M. B., Johnson, D. S., McClintock, B. T., et Morales, J. M. (2017). Animal movement: statistical models for telemetry data. *CRC press* .P 320
- Hosy C., Urbano S., Guerrero A., Oumhand A., 2012, « Biodiversité et grands projets ferroviaires intégrer les enjeux écologiques dès le stade des études », Ed. FNE, RFF
- Hull, V., Roloff, G., Zhang, J., Liu, W., Zhou, S., Huang, J., ... et Liu, J. (2014). A synthesis of giant panda habitat selection. *Ursus*, 25(2),148-162.

References

Iacone Santos, A. B., Albieri, R. J., et Araújo, F. G. (2013). Seasonal response of fish assemblages to habitat fragmentation caused by an impoundment in a Neotropical river. *Environmental biology of fishes*, 96, 1377-1387.

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

Jumeau, J., et Handrich, Y. (2016). Analyse expérimentale des traversées d'une infrastructure routière par la petite faune : Suivi photo et vidéo des hamstéroducts (*Doctoral dissertation*, DREAL Alsace ; CNRS IPHC Strasbourg).

Käiro, K., Timm², H., Haldna², M., et Virro¹, T. (2012). Biological quality on the basis of macroinvertebrates in dammed habitats of some Estonian streams, Central–Baltic Europe. *International review of hydrobiology*, 97(6), 497-508. <https://doi.org/10.1002/iroh.201111530>

Katano, I., Negishi, J. N., Minagawa, T., Doi, H., Kawaguchi, Y., et Kayaba, Y. (2009). Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: effects of a dam and a tributary. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(2), 331-351. <http://dx.doi.org/10.1899/08-010.1>

Keeley, A. T., Beier, P., et Gagnon, J. W. (2016). Estimating landscape resistance from habitat suitability: effects of data source and nonlinearities. *Landscape Ecology*, 31(9), 2151-2162.

L'importance de la connectivité écologique et le rôle des corridors écologiques ; Climate Chance 2023.

Laetitia (2023). Nature et environnement au cœur de nos vies. *News environnement*. Les conséquences de l'agriculture intensive sur la biodiversité.

Laurance, W. F., Lovejoy, T. E., Vasconcelos, H. L., Bruna, E. M., Didham, R. K., Stouffer, P. C., ... et Sampaio, E. (2002). Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22- year investigation. *Conservation biology*, 16(3), 605-618.

Le Pichon, C., Gorges, G., Baudry, J., Boussard, H., Goreaud, F., Faure, T., et Boët, P. (2007). Méthodes et outils d'analyse spatiale des habitats des poissons en contexte fluvial anthropisé. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, (50), p-21

References

- Lee, Y. G., An, K. G., Ha, P. T., Lee, K. Y., Kang, J. H., Cha, S. M., ... et Kimj, J. H. (2009). Decadal and seasonal scale changes of an artificial lake environment after blocking tidal flows in the Yeongsan Estuary region, Korea. *Science of the total environment*, 407(23), 6063-6072. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.03>
- Li G., Fang, C., Li, Y., Wang, Z., Sun, S., He S. et Liu, X. (2022). Global impacts of future urban expansion on terrestrial vertebrate diversity. *Nature communications*, 13(1), 1-12
- Lindenmayer, D. B., et Fischer, J. (2013). Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis. *Island Press*.P352
- Liu, Z., He C. et Wu J. (2016). The relationship between habitat loss and fragmentation during urbanization: an empirical evaluation from 16 world cities. *PloS one*, 11(4),1-17.
- Lu, X. X., et Higgitt, D. L. (2000). Estimating erosion rates on sloping agricultural land in the Yangtze Three Gorges, China, from caesium-137 measurements. *Catena*, 39(1), 33-51. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00081-8)
- LU, X., Z. JIANG, AND C. LI. 2007. Comparative habitat use by giant panda, *Ailuropoda melanoleuca* in selectively logged forests and timber plantations. *Folia Zoologica* 56:137–143.
- Lu, Y. F., Li, Q. W., Wang, Y. K., et Xu, P. (2019). Planning conservation corridors in mountain areas based on integrated conservation planning models: a case study for a giant panda in the Qionglai Mountains. *Journal of Mountain Science*, 16(11), 2654-2662.
- Martha J. Groom, Gary K. Meffe et C. Ronald Carroll,2004."Principes de biologie de la conservation"
- Mathevet, R., Thompson, J., Delanoë, O., Cheylan, M., Gil-Fourrier, C., et Bonnin, M. (2010). Dossier «Le réveil du dodo III»-La solidarité écologique: un nouveau concept pour une gestion intégrée des parcs nationaux et des territoires. *Natures sciences sociétés*, 18(4), 424-433.
- Mc Kinney M. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *UrbanEcosyst*,11,161-176.

References

Mélanie Bouffard.(2008). LES CORRIDORS BIOLOGIQUES, E. L. P., et ROUTIERS, P. IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE. Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.).Université de Sherbrooke.

Mendoza–Lera, C., Larrañaga, A., Pérez, J., Descals, E., Martínez, A., Moya, O., ... & Pozo, J. (2012). Headwater reservoirs weaken terrestrial- aquatic linkage by slowing leaf- litter processing in downstream regulated reaches. *River research and applications*, 28(1), 13-22.<https://doi.org/10.1002/rra.1434>

Mimet, A., Clauzel, C., et Foltête, J. C. (2016). Integrating land cover changes and assessments of landscape connectivity in habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, 147, 1-9.

Ministère de la Culture. "Les sites classés et inscrits".

Ministère de la Transition écologique .Programme de cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels (CarHab)

Ministère de la Transition écologique et solidaire. "Gestion adaptative des espaces naturels".

Ministère de la Transition Écologique. "Réserves naturelles - Mener un projet".

Mullu, D. (2016). A review on the effect of habitat fragmentation on ecosystem. *Journal of Natural Sciences Research*, 6(15), 1-15.

Naik, D. R., Bosukonda, S., et Mrutyunjayareddy, K. (2011). Reservoir impact assessment on land use/land cover and infrastructure—a case study on Polavaram project. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39, 271-278.

New, T., et Xie, Z. (2008). Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges Dam. *Biodiversity and Conservation*, 17, 3149-3163.

Office français de la biodiversité. "Rivières et zones humides".

References

Pascual-Hortal, L., et Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, 21, 959-967.

Pascual-Hortal, L., et Saura, S. (2007). Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning*, 83(2-3), 176-186.

Patterson, T. A., Parton, A., Langrock, R., Blackwell, P. G., Thomas, L., et King, R. (2017). Statistical modelling of individual animal movement: an overview of key methods and a discussion of practical challenges. *AStA Advances in Statistical Analysis*, 101 399-438. <http://doi.org/10.1007/s10182-017-0302-7>

Randklev, C. R., Johnson, M. S., Tsakiris, E. T., Groce, J., et Wilkins, N. (2013). Status of the freshwater mussel (Unionidae) communities of the mainstem of the Leon River, Texas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(3), 390-404. <https://doi.org/10.1002/aqc.2340>

République Française. Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages .

Réseau des Parcs Naturels Régionaux de France. "Les Parcs Naturels Régionaux". Disponible sur

Ribeiro J. C. T., Nunes-Freitas A. F., Fidalgo, E. C. C. Et Uzeda M. C. (2019). Forest fragmentation and impacts of intensive agriculture: Responses from different tree functional groups. *Plos one*, 14(8). <http://doi:10.1371/journal.pone.0212725>

Rochard, J., Porte, B., Guenser, J., Van Helden, M., et Epernay, F. Biodiversité en viticulture: Concept et application; premiers résultats du projet européen BioDiVine.

Saura, S., Bertzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., et Dubois, G. (2018). Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53-67.

References

Sites internet :

<http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/556>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10841-008-9173-2#citeas> .

https://books.google.dz/books?id=Evh1UD3ZYWcC&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/index_en.htm.

<https://emagazine.com/passages-for-wildlife-how-to-reduce-the-dramatic-effect-of-roads-on-biodiversity>

<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1996394/autoroute-corridors-connectivite-ecologique-temiscouata>

<http://data.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj>

<http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/o>

<http://www.escholarship.org/uc/item/6cj9g88f>

<http://www.escholarship.org/uc/item/6cj9g88f>

http://www.gpso.fr/guide_biodiversite_projets_ferroviaires.pdf

https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm

https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000_en

<https://www.ademe.fr/nature-ville-demineralisation-reforestation-urbaine>

<https://www.afbiodiversite.fr/fr/haies-et-bandes-boisees>

<https://www.afbiodiversite.fr/fr/trame-verte-et-bleue>

<https://www.culture.gouv.fr/Sites-thematiques/Sites-classes-et-inscrits>

<https://www.ecologie.gouv.fr/plan-local-durbanisme-plu>

<https://www.ecologie.gouv.fr/reserves-naturelles-mener-un-projet>

<https://www.fondationbiodiversite.fr/restauration-ecologique>

References

<https://www.fws.gov/endangered/laws-policies/esa.html>

<https://www.greencross.fr/agriculture-intensive>

<https://www.iucn.org/resources/publication/guidelines-biodiversity-inventory-and-monitoring>

<https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/guidelines>

<https://www.mta.gov.dz/offices-locaux-de-tourisme/?lang=fr>

<https://www.ofb.gouv.fr/fr/espace-presse/rivieres-et-zones-humides>

<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2236>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10641-013-0115-9#citeas>

<https://www.climate-chance.org/comprendre-observatoire/blog-observatoire-mondial/connectivite-ecologique-corridors-ecologiques>

<https://www.ebay.fr/itm/305521693856>

<https://www.ecologie.gouv.fr/schema-coherence-territoriale-scot>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12524-011-0086-2#citeas>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-008-9416-2#citeas>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aqc.2340>

<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/jo/2016/8/9>

<https://www.parcs-naturels-regionaux.fr>

<http://coldcreek.ca/cool-stuff/biodiversity>

<https://www.culture.gouv.fr/demarches-en-ligne/Par-thematique/Monuments-Sites/mes-travaux-en-site-protege/Les-principes-des-sites-proteges#:~:text=Les%20sites%20class%C3%A9s%20et%20inscrits,leur%20caract%C3%A8re%20remarquable%20ou%20exceptionnel%22>

<https://www.ecologie.gouv.fr/schema-coherence-territoriale-scot>

References

<https://www.ecologie.gouv.fr/fonds-vert>

<https://www.ofb.gouv.fr/actualites/retablir-les-equilibres-naturels-dans-la-mangrove-du-lamentin>

<https://planteurs-volontaires.com/>

المخلص

تكشف دراسة تأثير الأنشطة البشرية على تجزئة الموائل عن آثار عميقة على الحفاظ على التنوع البيولوجي. يخلق التحضر والتوسع الحضري حواجز بيئية، مما يقلل من اتصال الموائل. وتؤدي البنية التحتية الحضرية والزراعة المكثفة إلى تفاقم هذا التشرذم، مما يهدد التنوع البيولوجي. تستكشف فصول الدراسة أساليب قياس الارتباط البيئي، وأهمية الممرات البيئية، وتقدم دراسات حالة عن حيوانات الباندا العملاقة في الصين والنمور في الهند. يعتمد مستقبل التنوع البيولوجي على تنفيذ الحلول للحفاظ على اتصال الموائل واستعادته.

كلمات مفتاحية : التعمير; الموائل; الاتصال; الممرات; التجزئة.

Abstract

Studying the impact of human activities on habitat fragmentation reveals profound implications for biodiversity conservation. Urbanization and urban expansion create ecological barriers, reducing habitat connectivity. Urban infrastructure and intensive agriculture worsen this fragmentation, threatening biological diversity. The study's chapters explore methods for measuring ecological connectivity, the importance of ecological corridors, and present case studies of giant pandas in China and tigers in India. The future of biodiversity depends on implementing solutions to maintain and restore habitat connectivity.

Keywords : Urbanisation ; Habitat ; Connectivity ; corridors ; Fragmentation.

Résumé

L'étude de l'impact des activités humaines sur la fragmentation des habitats révèle des implications profondes pour la conservation de la biodiversité. L'urbanisation et l'expansion urbaine créent des barrières écologiques, réduisant la connectivité des habitats. Les infrastructures urbaines et l'agriculture intensive aggravent cette fragmentation, menaçant la diversité biologique. Les chapitres de l'étude explorent les méthodes de mesure de la connectivité écologique, l'importance des corridors écologiques, et présentent des études de cas sur les pandas géants en Chine et les tigres en Inde. L'avenir de la biodiversité dépend de la mise en œuvre de solutions pour maintenir et restaurer la connectivité des habitats.

Mots-clés : Urbanisation ; Habitat ; Connectivité ; Corridors ; Fragmentation.