



Crédit photo : ALEX_UGALEK / Shutterstock

Connectivité écologique : une passerelle vers la préservation de la biodiversité

Rétablir le lien entre les écosystèmes fragmentés

Autrefois, la nature était vaste et s'étendait à l'infini, mais dans notre monde industrialisé du XXI^e siècle cela n'est plus le cas. Aux quatre coins de la planète, les paysages terrestres et marins sont de plus en plus fragmentés. Les espèces sauvages sont davantage limitées dans leurs déplacements et les cours d'eau sauvages se raréfient. Le long des côtes tropicales, les vastes étendues de mangrove, les herbiers marins et les récifs coralliens sont aujourd'hui plus fragmentés, entravant ainsi la productivité et la résilience essentielles des écosystèmes face aux perturbations naturelles et anthropiques¹. L'une des conséquences de cette fragmentation des espaces naturels est la réduction de la distance parcourue par les mammifères et les autres espèces, qui est aujourd'hui deux fois moins importante qu'elle ne l'était auparavant². Cette capacité limitée à migrer, se disperser, se reproduire, se nourrir et prospérer signifie que les espèces sauvages sont prises au piège dans des situations où la menace d'extinction se fait de plus en plus pesante.

La fragmentation est une conséquence typique de la transformation et de la destruction du paysage. Le morcellement des habitats engendre trois effets spécifiques : la réduction de la surface totale et de la qualité des habitats, l'isolement accru de petites parcelles d'habitats, et les perturbations croissantes liées à la délimitation artificielle de ces parcelles, appelées « effets lisière »³⁻⁶. Des parcelles d'habitats plus petites et isolées sont synonymes d'une moins grande diversité d'espèces et de plus petites populations à l'intérieur de chaque parcelle, avec des interactions limitées entre chacune d'elles. La fragmentation accrue des lisières expose les populations vivant dans les parcelles aux perturbations externes le long de leurs frontières. Tôt ou tard, lorsqu'une parcelle devient trop petite et trop isolée, la viabilité des populations et la diversité des espèces ne peuvent plus être maintenues⁵. La fragmentation entraîne finalement une spirale destructrice de dysfonctionnements écologiques en chaîne, allant de l'appauvrissement du réseau trophique à l'extinction directe d'espèces, en passant par la perte de processus écologiques essentiels, tels que les flux de minéraux et de nutriments^{3,5,7-9}.

Maintenir ou rétablir la connectivité entre les habitats fragmentés ou les parcelles de paysage est considéré comme la solution pour contrer un grand nombre d'impacts négatifs dus à la fragmentation¹⁰. La connectivité se définit comme le degré de liberté qu'offrent les paysages terrestres et marins aux espèces pour se déplacer et aux processus écologiques pour fonctionner. Des preuves scientifiques s'appuyant sur des recherches de biogéographie insulaire et des études de métapopulations d'espèces démontrent très clairement que les habitats connectés offrent une meilleure préservation des espèces et des fonctions écologiques^{11,12}. Les communautés écologiques et les parcelles d'habitats connectées soutiennent des processus écologiques vitaux, tels que la pollinisation, la productivité, la décomposition et les cycles biochimiques et nutritifs. La connectivité écologique peut aussi aider les espèces à s'adapter aux conditions environnementales futures et à contrer les changements en renforçant la résilience écologique aux menaces, telles que le changement climatique¹³.

Malgré les avantages flagrants de la connectivité écologique, les nations du monde entier manquent actuellement d'une approche de conservation de la connectivité. Quelles sont les meilleures mesures pour évaluer l'efficacité de la conservation de la connectivité ? Comment les gouvernements et les organismes de protection de l'environnement créent-ils des corridors écologiques, conçoivent-ils des réseaux écologiques ou déterminent-ils l'efficacité des efforts de conservation de la connectivité ? La préservation des paysages terrestres et marins intacts grâce à la délimitation de zones protégées plus nombreuses ou plus larges est possible, mais nécessite de faire des choix politiques, sociaux et économiques difficiles^{14,15}. La connectivité dans un but de préservation requiert la définition d'objectifs communs à toutes les parties prenantes afin de garantir une prise en charge multidimensionnelle et la mise en œuvre d'une action coordonnée. Pour atteindre des résultats efficaces, une collaboration doit être instaurée entre les secteurs public et privé. Il incombe à tous les secteurs, du niveau communautaire à l'échelle mondiale, d'enrayer la perte de biodiversité et de réduire l'impact sur les écosystèmes. Dans de nombreux cas, les efforts de connectivité peuvent intégrer les préoccupations socioéconomiques locales dans un système de préservation plus large.



Richesse et diversité des espèces, et interactions entre celles-ci



Variabilité et flux génétiques



Déplacements et dispersion



Risques d'apparition de zoonoses, d'épidémies et d'exposition de l'être humain à ces maladies



Fragmentation des habitats

Près de 40 pour cent des écosystèmes terrestres ont été transformés en terres agricoles¹⁶. La modification des terres et des cours d'eau à des fins d'utilisation par l'homme engendre une fragmentation des habitats. Les parcelles d'habitats plus petites et plus isolées, entourées de zones d'activité anthropique, sont moins susceptibles de préserver les fonctions des espèces animales et végétales qu'elles abritent et de garantir leur survie. La fragmentation des habitats a des répercussions négatives sur l'abondance, la répartition, la circulation et la diversité des espèces, leurs interactions, leur reproduction et leur diversité génétique⁵. Elle entrave la capacité des espèces à s'adapter aux nouvelles conditions climatiques¹⁷.



Les forces de fragmentation

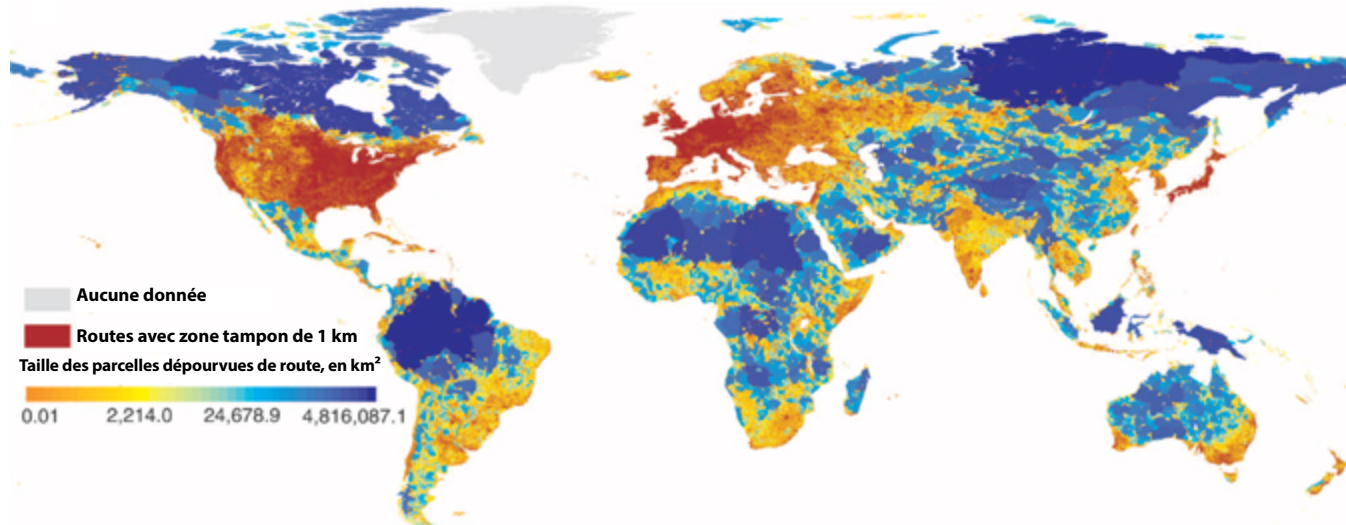
Les sociétés transforment actuellement la biosphère terrestre et son écologie de manière inédite. Les dernières recherches montrent que plus de 75 pour cent des terres émergées de la planète ont été modifiées par l'homme¹⁸⁻²¹. Les pressions démographiques, l'urbanisation croissante, l'expansion agricole, la pollution et le développement des infrastructures sont des forces de fragmentation qui agissent en synergie. Selon certaines estimations sur l'occupation des sols, d'ici à 2050, près d'un milliard d'hectares de terres tropicales pourront être défrichés à des fins agricoles²². Le milieu marin est encore plus en proie à ces changements. Comme le montrent de nouvelles recherches, seuls près de 13 pour cent des océans de la planète sont encore considérés comme des espaces marins sauvages, soit un pourcentage bien inférieur aux prédictions de nombreux organismes de protection de l'environnement²³.

Les infrastructures linéaires représentent souvent le fer de lance du développement moderne. Des routes, des voies de chemin de fer, des canalisations, des clôtures et des canaux sont construits à un rythme record, en particulier dans les régions tropicales isolées et jusqu'ici non développées. Sur l'ensemble des nouvelles routes qui devraient être construites à l'échelle mondiale, 90 pour cent devraient l'être dans les pays en développement²⁴. En Inde, où l'on

recense près de 60 pour cent de la population mondiale de tigres, des corridors essentiels à la population de tigres sont menacés par un projet de 4 300 kilomètres de nouvelles routes nationales et d'État²⁵. À l'échelle mondiale, plus de 25 millions de kilomètres de nouvelles routes devraient voir le jour d'ici à 2050, soit une augmentation de 60 pour cent du réseau routier par rapport à 2010²⁶.

Les cours d'eau sauvages, considérés comme la force de vie des paysages terrestres et des estuaires, sont menacés par la fragmentation due à la taille et à la portée des constructions de barrages actuelles. À l'échelle mondiale, 59 pour cent des cours d'eau sont morcelés par de grands barrages, perturbant ainsi l'écoulement naturel de 93 pour cent du volume mondial des cours d'eau, avec près de 28 pour cent faisant l'objet d'une régulation importante ou sévère²⁷. Dans le seul bassin de l'Amazonie, plus de 400 projets de barrages sont actuellement élaborés, mis en œuvre ou planifiés²⁸. Ensemble, l'édification de barrages, la construction de routes et la déforestation affaiblissent l'intégrité écologique des bassins fluviaux continentaux et ont de réelles répercussions sur d'autres activités anthropiques économiques ou de loisir. Par exemple, la connectivité des systèmes d'eau douce rapporte près de 200 millions USD par an au secteur de la pêche dans le bassin de l'Amazonie et offre une source de revenus à près de 200 000 pêcheurs²⁹.

La fragmentation du paysage par les routes



L'analyse d'un ensemble de données portant sur 36 millions de km de routes à l'échelle mondiale montre que les routes ont fragmenté le paysage de la Terre en plus de 600 000 parcelles. Plus de la moitié d'entre elles se situe dans un périmètre d'un kilomètre d'une route (en rouge). Les parcelles se rapprochant des nuances de bleu sont plus éloignées des routes et moins influencées par leurs effets.

Source: Ibsch et al. (2016)³⁰

Le rio Xingu au nord du Brésil, en 2000 et 2017



La construction du barrage hydroélectrique de Belo Monte en 2011 a entièrement remodelé le rio Xingu. Plus de 80 pour cent du débit de la rivière a été détourné, entraînant l'assèchement de vastes zones (en orange/marron) et affectant les communautés autochtones et les espèces sauvages de la région.

Crédit photo : Joshua Stevens / NASA Earth Observatory

Les cours d'eau, les paysages terrestres et les littoraux sont inextricablement liés. La connectivité reconnaît également que la nature fonctionne comme la somme de ses différentes parties. La connectivité entre les systèmes aquatiques et terrestres est essentielle à l'intégrité écologique et ces éléments sont trop souvent gérés comme des entités distinctes. Dans les écosystèmes tempérés, par exemple, les recherches ont montré que l'empreinte des plaines inondables des rivières ayant un lit de gravier s'étendait bien au-delà des zones ripariennes. Cette empreinte influe sur l'écologie souterraine, au-delà des canaux fluviaux visibles et de leurs deltas, jusque dans le milieu marin. Les réseaux hydrographiques à écoulement libre relient les communautés aquatiques, aviaires et terrestres, des microbes aux ours grizzly, influençant ainsi la biogéochimie des paysages terrestres et marins³¹.



Vidéo : Dispersion des graines et fragmentation de la forêt



Lien vers la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=0m6AJWZ2p8I>

Crédit photo : Jess Kraft / Shutterstock

© HHMI BioInteractive

Fragmentation du paysage et connectivité écologique

La **fragmentation du paysage** désigne la subdivision de vastes habitats continus en parcelles plus petites et plus isolées.

La **connectivité écologique** évalue dans quelle mesure un habitat permet la libre circulation des animaux et des autres flux écologiques.

Tandis que le climat se réchauffe, conserver une connexion entre des zones de températures différentes permettrait aux organismes de passer d'un **gradient de température** à un autre, facilitant ainsi l'adaptation des espèces.

Des **espaces bien connectés** permettent aux espèces de migrer vers de nouveaux habitats, notamment **en réponse au changement climatique**.



La **fragmentation des cours d'eau** est due principalement aux **barrages et réservoirs**, qui séparent les écosystèmes en amont et ceux en aval, perturbant les voies de dispersion et de migration des espèces, ainsi que le transport des matières organiques et inorganiques

Plus de **3 700 grands barrages hydroélectriques** devraient voir le jour à l'échelle mondiale

Les **routes modifient les comportements** de certaines espèces ; par exemple, les escargots de terre évitent de traverser les routes, même celles dotées d'aucun revêtement

Les infrastructures de transport, telles que les **routes** et les **voies de chemin de fer** entravent le déplacement des espèces sauvages

Certains facteurs, comme la **largeur et la courbure de la route** et la densité du trafic, peuvent également influencer le nombre d'espèces tuées

Il a été démontré que la fragmentation des habitats entraînait une **baisse du nombre de grands prédateurs**

Une étude mondiale a montré que la répartition géographique de **177 espèces de mammifères** avait été réduite de plus de **30 %**, et **40 %** de ces espèces connaissent un déclin majeur de leur population

La **connectivité terre-mer** englobe la migration biologique, le cycle hydrologique, le transport des nutriments et d'autres processus climatiques vitaux pour les écosystèmes côtiers et mondiaux

La connectivité améliore les **interactions plantes-animaux**, telles que la pollinisation et la dispersion des graines. Les plantes des zones mieux connectées produisent plus de fruits.



D'ici 2030, environ **40 %** des cours d'eau de la planète seront **gravement fragmentés**

Les **pratiques forestières modernes** dégradent la connectivité écologique

Une importante étude portant sur l'Amazone a conclu que la meilleure façon de protéger le fleuve des activités anthropiques et de garantir sa résilience face au changement climatique était de créer de **très grandes réserves naturelles étendues et connectées**

59 % des bassins hydrographiques de la planète sont équipés de grands barrages et ce chiffre devrait atteindre les **75 % d'ici 2030**

Les **corridors écologiques** sont des bandes de végétation qui relient une zone d'habitat à une autre, facilitant ainsi la circulation des plantes et des animaux.

Un **corridor en pas japonais** est un corridor constitué de différentes petites tâches de végétation indigène promouvant le déplacement des espèces et la dispersion sur de longues distances.

Ce type de corridor permet aux espèces de se déplacer entre des habitats isolés et de coloniser de nouveaux habitats.

La création de **corridors entre les réserves naturelles** facilite la connectivité écologique, ce qui accroît la diversité des espèces au sein de chaque réserve

Au Brésil, une étude portant sur des espèces d'oiseaux extrêmement vulnérables a montré que les **forêts davantage connectées** abritaient une plus grande diversité d'espèces d'oiseaux que les forêts moins connectées

Les **habitats marins mieux connectés** sont plus résilients face au changement climatique

La connectivité est vitale pour les **organismes vivant dans les eaux côtières tropicales et subtropicales peu profondes** qui dépendent de la migration entre les récifs coralliens, les mangroves, les estuaires et les écosystèmes des cours d'eau inférieurs

Dans la baie Moreton, en Australie, une étude des **récifs coralliens** a montré que les parcelles présentant une **meilleure connectivité avec les mangroves** abritaient une plus grande abondance d'espèces que celles isolées des mangroves

Promouvoir des solutions de connectivité

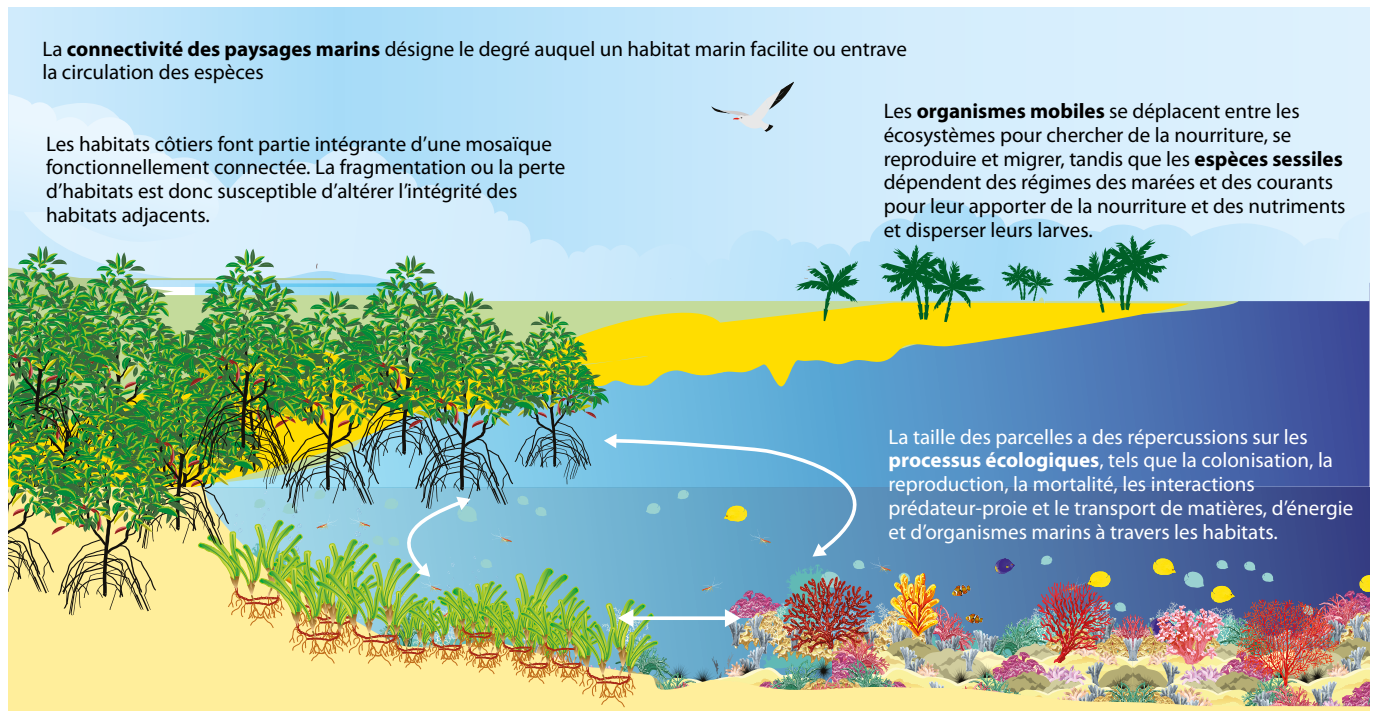
Le maintien de la connectivité est la solution à la fragmentation. À une époque où les menaces auxquelles fait face la nature se multiplient et exigent des capacités humaines et financières plus importantes, certains pays mettent en œuvre des initiatives progressives. Au Brésil, le maintien de la connectivité se matérialise par les efforts ambitieux déployés par le pays pour rétablir des connexions viables entre les habitats de la forêt pluviale atlantique Mata Atlantica qui a été largement fragmentée. Les projets de restauration visant à rétablir le lien entre les populations isolées se sont concentrés sur certaines espèces menacées, comme le Tamarin lion doré. Les activités de restauration ciblées ont démontré leur efficacité sur la réduction du taux d'extinction des espèces dans les blocs forestiers autrefois fragmentés³². La connectivité est aujourd'hui l'objectif affiché de plusieurs politiques brésiliennes de préservation de la biodiversité. La Loi sur les forêts et la Loi de protection de la végétation indigène du Brésil insistent particulièrement sur le rôle de la connectivité comme stratégie

majeure de restauration du paysage et de préservation des habitats^{33,34}. Le gouvernement d'El Salvador a récemment proposé que la période 2021-2030 soit déclarée « décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes », avec pour objectif de restaurer et d'accroître la connectivité et les fonctions écologiques.

En Afrique, le gouvernement de Tanzanie a adopté récemment une nouvelle loi sur la conservation des espèces sauvages qui souligne le besoin de garantir une meilleure préservation des corridors biologiques dans ses zones protégées. Au Kenya, où l'on retrouve les plus grandes populations d'espèces sauvages en dehors des zones protégées et où la planification à l'échelle des provinces n'en est qu'à ses débuts, le Kenya Wildlife Service a répertorié systématiquement les principaux corridors biologiques et zones de dispersion du pays et a élaboré une politique nationale sur les corridors biologiques³⁵.

Dans le milieu marin, la connectivité s'articule autour de trois dimensions, car les colonnes d'eau ajoutent une variable à l'écologie du mouvement. La mer constitue elle-même un moyen de connexion. Ainsi, la connectivité dans le milieu marin se

Connectivité des paysages marins



manifeste de plusieurs manières au sein des connexions mer-côtes, des interactions surface-fonds marins et des dynamiques de courant océanique³⁶.

Il est presque impossible pour les zones marines protégées, la pierre angulaire de la préservation des océans, de fonctionner de manière isolée dans cet environnement extrêmement interconnecté. La mer favorise donc la création de réseaux écologiques qui relie d'importants habitats à travers le temps et l'espace.

Par ailleurs, l'évolution complexe de nombreuses espèces marines s'est faite en parallèle des dynamiques de mouvement de cet univers fluide. Les herbiers marins et les mangroves sont connus pour leur fonction de pouponnière pour de nombreuses espèces marines, qui doivent ensuite voyager vers des récifs coralliens, des promontoires marins ou d'autres eaux pour arriver à maturité. La connectivité des paysages marins est considérée comme un principe directeur clé de la préservation et de l'aménagement du milieu marin, ainsi que des efforts de restauration. Cependant, en pratique, elle est rarement prise en compte dans la conception des réseaux de réserves marines³⁶⁻³⁹. Ce manquement est en grande partie dû au nombre limité de données quantitatives sur les multiples aspects de la connectivité disponibles au cours de la phase de conception, par exemple, sur les schémas de dispersion et de circulation des principales espèces à différentes étapes du cycle de vie, sur la connectivité écologique à l'intérieur et au-delà des réserves, ainsi qu'entre les types d'habitats, et sur la connectivité génétique entre les populations^{10,38-40}. Toutefois, des études portant sur la relation entre la connectivité et les performances des réserves marines des Caraïbes, des îles Keys de la Floride, des îles Salomon, de la baie de Moreton et de la Grande Barrière de corail en Australie démontrent l'importance écologique d'une meilleure connectivité. Dans ces zones protégées, des répercussions positives ont été observées sur l'abondance de poisson, la richesse et la composition des espèces, le recrutement des poissons et différents processus écologiques^{10,41-44}.

Des efforts ont été déployés par la communauté internationale pour promouvoir des solutions de connectivité. En 2016, l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a créé le Groupe de spécialistes sur le maintien de la connectivité (CCSG) dont la mission est de catalyser et stimuler la pratique croissante du maintien de la connectivité. Composé d'environ 900 membres provenant de 80 pays, le CCSG se concentre sur le renforcement des capacités de maintien constant de la connectivité à l'échelle mondiale en développant des réseaux et en prodiguant des conseils sur la base d'une expertise scientifique, de l'ingénierie et des politiques.

▶ Vidéo : Qu'est-ce que la connectivité marine ?



Lien vers la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=MowPR5GYqKM>
Crédit photo : Damsea / Shutterstock

© Ifremer

▶ Vidéo : La face cachée de la migration du crabe rouge – île Christmas 2012



Lien vers la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=n9yJ51LQ0sl>
Crédit photo : David Stanley

© Parks Australia

Fixer des objectifs de connectivité future

Les objectifs d'Aichi pour la biodiversité adoptés dans le cadre de la mise en œuvre du Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 par la Convention sur la diversité biologique abordent les problèmes de connectivité des paysages terrestres et marins. L'objectif d'Aichi pour la biodiversité n° 11 dispose qu'au moins 17 pour cent des zones terrestres et d'eaux intérieures et 10 pour cent des zones marines et côtières devront être protégées à l'échelle mondiale au moyen d'un système de zones protégées largement interconnectées. Pourtant, de nombreux scientifiques sont convaincus que la préservation de la biodiversité actuelle mérite un objectif plus ambitieux^{45,46}. La communauté scientifique de la conservation fait valoir, qu'en moyenne, 50 pour cent de toutes les terres et les mers doivent être gérées pour pouvoir maintenir les processus écologiques qui préservent la nature et les seuils critiques pour la santé de la planète, y compris pour les services écosystémiques qui soutiennent les moyens de subsistance de l'être humain^{4,14,15}. Pour de nombreuses zones ayant une importance écologique mondiale, un objectif plus ambitieux est soutenu par les secteurs scientifiques et politiques. Par exemple, le bassin de l'Amazone demande une protection accrue pour maintenir les fonctions hydrologiques et climatiques d'importance régionale et mondiale de ce vaste bassin hydrographique. Si l'Amazone venait à perdre plus de 20 pour cent de ses forêts, les modélisations du paysage prévoient un renversement des seuils qui soutiendrait davantage la savane tropicale que les forêts, affectant ainsi les tendances climatiques mondiales⁴⁷. En vue de la réalisation des objectifs d'Aichi pour la biodiversité, le gouvernement brésilien a intensifié ses efforts visant à protéger 30 pour cent de l'Amazone tout en s'assurant que chaque autre biome de son territoire atteigne l'objectif d'Aichi de protéger 17 pour cent des zones terrestres et d'eaux intérieures⁴⁸. Le prochain plan stratégique décennal pour la diversité biologique 2021-2030 sera négocié en octobre 2020 en Chine. Les acteurs de la conservation des ressources sont enthousiastes à l'idée que l'objectif d'Aichi pour la biodiversité n° 11 soit dépassé, conformément aux aspirations de l'objectif « 50 % for nature and climate » d'ici 2050.

Bien qu'une grande partie des efforts déployés visent à atteindre les pourcentages fixés de protection des terres, des eaux douces et des mers, il est également admis que davantage pourrait être fait pour mieux connecter les zones protégées et mettre en place d'autres mesures de conservation efficaces par zone. Les données scientifiques montrent que des zones protégées connectées sont des zones protégées plus efficaces^{49,50}. Connecter des paysages terrestres et marins fragmentés par le biais de réseaux écologiques peut renforcer efficacement les fonctionnalités de la nature et encourager des approches de conservation plus ambitieuses. Actuellement, les zones protégées occupent 14,7 pour cent des



Les **corridors biologiques** désignent une stratégie de connectivité largement acceptée pour protéger la migration des espèces. Les corridors sont souvent conçus pour des espèces particulières, et se concentrent sur ces espèces, telles que l'Antilope d'Amérique en Amérique du Nord, les tigres en Asie et le jaguar en Amérique du Sud. Les corridors peuvent prendre plusieurs formes et plusieurs tailles selon l'espèce concernée et les contraintes environnementales, allant de pistes linéaires discrètes à des parcelles d'habitats « tremplin » qui facilitent la migration des oiseaux et des tortues de mer.

Les **zones de connectivité** sont de vastes zones terrestres ou marines favorisant la connectivité d'une grande diversité d'espèces et de processus écologiques. Ces zones sont constituées de larges étendues terrestres ou marines qui facilitent la dispersion entre les zones protégées et s'avèrent indispensables dans des régions comme l'Afrique de l'Est où une écrasante majorité des espèces sauvages se trouve en dehors des zones protégées. Les zones de connectivité encouragent également le déplacement des animaux, de la biomasse et de l'énergie entre les parcelles d'habitats ou entre les différents écosystèmes d'une même zone protégée.

Les **zones de perméabilité** désignent le concept à plus grande échelle utilisé par les organismes de protection de l'environnement pour maintenir la connectivité dans les régions dominées par l'homme en dehors des zones protégées. Ces zones répondent aux besoins saisonniers ou d'espace des espèces en mouvement, ainsi qu'aux besoins des processus écologiques, en abritant des bassins vernaux ou certaines trajectoires hydrologiques d'eau douce.

Les **corridors climatiques** sont une solution proposée par les scientifiques pour protéger le mouvement des espèces le long des gradients de température. Ces mêmes corridors servent souvent de « refuges climatiques »⁵¹. Certains efforts de maintien de la connectivité intègrent spécifiquement la résilience aux changements climatiques à leurs objectifs, tels que l'initiative Great Eastern Ranges en Australie⁵².

terres de la planète et moins de la moitié sont connectées⁵⁰. Comme le montre ce chiffre, il existe une marge importante d'amélioration de la connectivité des zones protégées à l'échelle mondiale. Même si la communauté internationale recherche des mesures de conservation à grande échelle rapides, améliorer la connectivité des zones protégées grâce aux réseaux écologiques offre un espoir.

Actuellement, les zones protégées occupent 14,7 pour cent des terres de la planète et moins de la moitié sont connectées⁵⁰. Comme le montre ce chiffre, il existe une marge importante d'amélioration de la connectivité des zones protégées à l'échelle mondiale. Même si la communauté internationale recherche des mesures de conservation à grande échelle rapides, améliorer la connectivité des zones protégées grâce aux réseaux écologiques offre un espoir.

Les activités de maintien de la connectivité sont une composante relativement récente des efforts de conservation plus larges et il reste beaucoup à apprendre pour parfaire les bonnes pratiques en la matière^{53,54}. En tant que pratique émergente, la préservation de la connectivité écologique fait face à ses principales difficultés de mise en œuvre en dehors des zones protégées. Limiter l'impact des forces de fragmentation, telles que le développement linéaire d'infrastructures, constitue un besoin fondamental évident. Sensibiliser les décideurs, les agences gouvernementales et les parties prenantes communautaires locales à l'importance de la connectivité écologique est tout aussi essentiel. Même si certaines nations sont susceptibles de prendre des mesures réglementaires pour maintenir la connectivité, la grande majorité des efforts de connectivité écologique viendront d'approches de conservation participatives et incitatives⁵⁵. L'adaptation des politiques environnementales existantes peut faciliter la mise en œuvre de mesures de connectivité plus larges en intégrant des objectifs liés à la connectivité dans les études d'impact environnemental et dans différents programmes d'incitations fiscales et financières en faveur de la conservation.

Les zones protégées seules ne peuvent pas sauver la biodiversité ou préserver les fonctions écologiques interconnectées qui garantissent la vie sur cette planète. La connectivité incarne l'écologie, c'est-à-dire la science de l'interdépendance. Elle est indispensable, car l'interaction des terres, des eaux douces et des mers représente le force de vie d'une nature intacte. Ainsi, des réseaux connectés sont le meilleur moyen de maintenir et restaurer les processus écologiques et évolutifs, éviter l'extinction des espèces et protéger les écosystèmes terrestres, d'eau douce et marins indispensables à l'humanité et à toute forme de vie. La connectivité peut améliorer la résilience et l'adaptation des écosystèmes du monde entier au changement climatique et faire en sorte qu'ils soient en mesure de conserver leur intégrité écologique qui répond aux besoins des générations actuelles et futures. Jusqu'à ce que les forces de fragmentation soient anéanties, la conception de mesures de préservation de la connectivité permet de créer un filet de sécurité pour maintenir la biodiversité et finalement, l'espèce humaine.

Corridor en pas japonais et écoduc

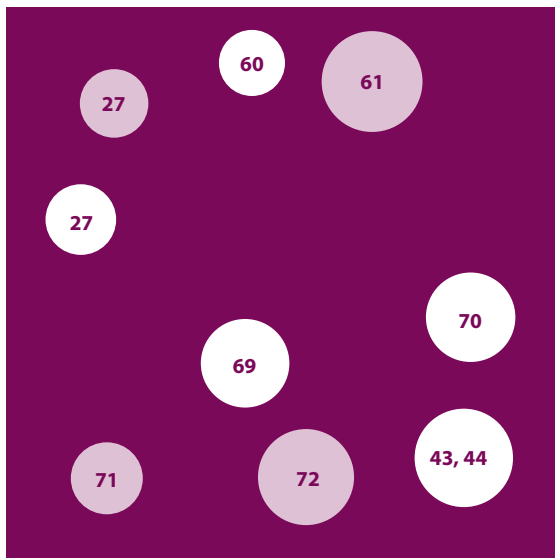


Bibliographie

1. Cullen-Unsworth, L.C. and Unsworth, R. (2018). A call for seagrass protection. *Science* 361(6401), 446-448. <https://doi.org/10.1126/science.aat7318>
2. Tucker, M.A., Böhning-Gaese, K., Fagan W.F., Fryxell J.M., Van Moorter, B., Alberts, S.C. *et al.* (2018) Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science* 359(6374), 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>
3. Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., Holt, R.D. *et al.* (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
4. Wilson, E.O. (2016). *Half-Earth: our planet's fight for life*. London: W.W. Norton & Company
5. Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 34, 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
6. Laurance, W.F., Nascimento, H.E.M., Laurance, S.G., Ana Andrade, A., Ewers, R.M., Harms, K.E. *et al.* (2007) Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis *PLoS ONE* 2(10), e1017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001017>
7. Crook, D.A., Winsor, H., Lowe, W.H., Allendorf, F.W., Eros, T., Finn, D.S., Gillanders, B.M. *et al.* (2015) Human effects on ecological connectivity in aquatic ecosystems: Integrating scientific approaches to support management and mitigation. *Science of The Total Environment* 534, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.034>
8. Crooks, K.R., Burdett, C.L., Theobald, D.M., King, S.R.B., Di Marco, M., Rondinini, C. *et al.* (2017) Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(29), 7635-7640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705769114>
9. Laurance, W.F., Camargo, J.L.C., Luizão, R.C.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.M. *et al.* (2011) The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation* 144(1), 56-67. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>
10. Olds, A.D., Connolly, R.M., Pitt, K.A., Pittman, S.J., Maxwell, P.S., Huijbers, C.M. *et al.* (2015). Quantifying the conservation value of seascape connectivity: a global synthesis. *Global Ecology and Biogeography* 25, 3-15. <https://doi.org/10.1111/geb.12388>
11. MacArthur, R.H. and Wilson, E.O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
12. Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J.R. and Beard, K.H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology* 24(3), 660-668. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x>
13. Heller, N.E. and Zavaleta, E.S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142(1), 14-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
14. Noss, R.F., Dobson, A.P., Baldwin, R., Beier, P. Davis, C.R., Dellasala, D.A. *et al.* (2012) Bolder thinking for conservation. *Conservation Biology* 26(1), 1-4. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01738.x>
15. Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E. *et al.* (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience* 67(6), 534-545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
16. Barnosky, A.D., Hadly, E.A., Bascompte, J., Berlow, E.L., Brown, J.H., Fortelius, M. *et al.* (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486(7401), 52. <https://doi.org/10.1038/nature11018>
17. McGuire, J.L., Lawler, J.J., McRae, B.H., Nunez, T.A. and Theobald, D.M. (2016). Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(26), 7195-7200. <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1602817113>
18. Ellis, E.C., Goldewijk, K.K., Siebert, S., Lightman, D. and Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
19. Oakleaf, J.R. and Kennedy, C.M. (2016). Comparison of global human modification and human footprint maps. *The Nature Conservancy*. http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/lands/science/publications/Documents/HM_HF_comparison_documentation.pdf
20. Venter, O., Sanderson, E.W., Magrach, A., Allan, J.R., Beher, J., Jones, K.R. *et al.* (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications* 7, 12558. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
21. Watson, J.E.M., Shanahan, D.F., Di Marco, M., Allan, J., Laurance, W.F., Sanderson, E.W. *et al.* (2016). Catastrophic declines in wilderness areas undermine global environment targets. *Current Biology* 26, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.049>
22. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
23. Jones, K.R., Klein, C.J., Halpern, B.S., Venter, O., Grantham, H., Kuempel, C.D. *et al.* (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology* 28(15), 2506-2512. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.010>
24. Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M. *et al.* (2014). A global strategy for road building. *Nature* 513(7517), 229. <https://doi.org/10.1038/nature13717>
25. Habib, B., Rajvanshi, A., Mathur, V.B., and Saxena, A. (2016). Corridors at crossroads: Linear development-induced ecological triage as a conservation opportunity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4, 132. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00132>
26. Dulac, J. (2013). Global land transport infrastructure requirements - estimating infrastructure capacity and costs to 2050. Paris: International Energy Agency. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FINAL_WEB.pdf
27. Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A.E., MacDonald, G.K., Zarfl, C. and Liermann, C.R. (2015) An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters* 10(1). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/1/015001/meta>
28. Fundación Proteger, International Rivers and ECOA (2018). Dams in Amazonia website. <http://dams-info.org/>
29. Tundisi, J.G., Goldemberg, J., Matsumura-Tundisi, T. and Saraiva, A.C.F. (2014). How many more dams in the Amazon? *Energy Policy* 74, 703-708. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.013>

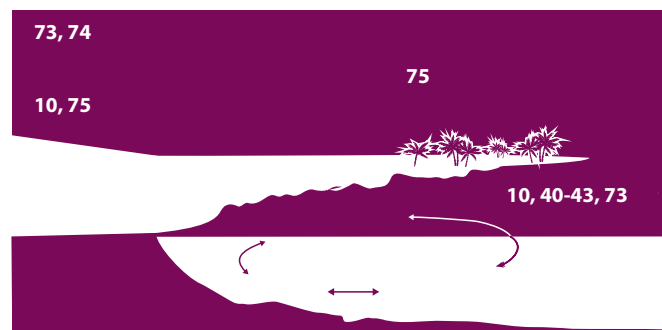
30. Ibsch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., et al. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318), 1423-1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
31. Hauer, F.R., Locke, H., Dreitz, V.J., Hebblewhite, M., Lowe, W.H., Muhlfeld, C.C. et al. (2016). Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes. *Science Advances* 2(6), e1600026. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600026>
32. Newmark, W.D., Jenkins, C.N., Pimm, S.L., McNeally, P.B. and Halley, J.M. (2017). Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(36), 9635-9640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705834114>
33. Garcia, L.C., Santos, J.S., Matsumoto, M., Silva, T.S.F., Padovezi, A., Sparovek, G. et al. (2013). Restoration challenges and opportunities for increasing landscape connectivity under the new Brazilian Forest Act. *Natureza & Conservação* 11(1), 181-185. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2013.028>
34. Brancalion, P.H.S., Garcia, L.C., Loyola, R., Rodrigues, R.R., Pillar, V.P., and Lewinsohn, T.M. (2012). A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação* 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.003>
35. Ojwang', G.O., Wargute, P.W., Said, M.Y., Worden, J.S., Davidson, Z., Muruthi, P. et al. (2017). Wildlife Migratory Corridors and Dispersal Areas: Kenya Rangelands and Coastal Terrestrial Ecosystems. Nairobi: Kenya Wildlife Service
36. Carr, M.H., Robinson, S.P., Wahle, C., Davis, G., Kroll, S., Murray, S. et al. (2017). The central importance of ecological spatial connectivity to effective marine protected areas and to meeting the challenges of climate change in the marine environment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27(S1), 6-29. <https://doi.org/10.1002/aqc.2800>
37. Magris, R.A., Pressey, R.L., Weeks, R. and Ban, N.C. (2014). Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning. *Biological Conservation* 170, 207-221. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.032>
38. Green, A.L., Maypa, A.P., Almany, G.R., Rhodes, K.L., Weeks, R., Abesamis, R.A. et al. (2015). Larval dispersal and movement patterns of coral reef fishes, and implications for marine reserve network design. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90(4), 1215-1247. <https://doi.org/10.1111/brv.12155>
39. Engelhard, S.L., Huijbers, C.M., Stewart-Koster, B., Olds, A.D., Schlacher, T.A. and Connolly, R.M. (2016). Prioritising seascape connectivity in conservation using network analysis. *Journal of Applied Ecology* 54(4), 1130-1141. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12824>
40. Foster, N.L., Paris, C.B., Kool, J.T., Baums, I.B., Stevens, J.R., Sanchez, J.A., Bastidas, C. et al. (2012). Connectivity of Caribbean coral populations: complementary insights from empirical and modelled gene flow. *Molecular Ecology* 21(5), 1143-1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05455.x>
41. Huntington, B.E., Karnauskas, M., Babcock, E.A. and Limran, D. (2010). Untangling natural seascape variation from marine reserve effects using a landscape approach. *PLoS ONE* 5, e12327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012327>
42. Valentine, J.F., Heck, K.L., Jr, Blackmon, D., Goecker, M.E., Christian, J., Kroutil, R.M. et al. (2008). Exploited species impacts on trophic linkages along reef-seagrass interfaces in the Florida keys. *Ecological Applications* 18(6), 1501-1515. <https://doi.org/10.1890/07-1720.1>
43. Olds, A.D., Pitt, K.A., Maxwell, P.S. and Connolly, R.M. (2012). Synergistic effects of reserves and connectivity on ecological resilience. *Journal of Applied Ecology* 49(6), 1195-1203. <https://doi.org/10.1111/jpe.12002>
44. Olds, A.D., Albert, S., Maxwell, P.S., Pitt, K.A. and Connolly, R.M. (2013). Mangrove-reef connectivity promotes the functioning of marine reserves across the western Pacific. *Global Ecology and Biogeography* 22(9), 1040-1049. <https://doi.org/10.1111/geb.12072>
45. Butchart, S.H., Clarke, M., Smith, R.J., Sykes, R.E., Scharlemann, J.P., Harfoot, M. et al. (2015). Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters* 8(5), 329-337. <https://doi.org/10.1111/conl.12158>
46. Dudley, N., Jonas, H., Nelson, F., Parrish, J., Pyhälä, A., Stolton, S. et al. (2018). The essential role of other effective area-based conservation measures in achieving big bold conservation targets. *Global Ecology and Conservation* 15, e00424. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00424>
47. Zemp, D.C., Schleussner, C.F., Barbosa, H.M., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G. et al. (2017). Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature Communications* 8, 14681. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681>
48. Pacheco, A.A., Neves, A.C.O. and Fernandes, G.W. (2018). Uneven conservation efforts compromise Brazil to meet the Target 11 of Convention on Biological Diversity. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16(1), 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.12.001>
49. Beier, P. and Noss, R.F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6), 1241-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
50. Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A. and Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators* 76, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.047>
51. Krosby, M., Tewksbury, J., Haddad, N.M. and Hoekstra, J. (2010). Ecological connectivity for a changing climate. *Conservation Biology* 24(6), 1686-1689. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01585.x>
52. Pulsford, I., Fitzsimons, J. and Wescott, G. (eds.) (2013). *Linking Australia's landscapes: Lessons and opportunities from large-scale conservation networks*. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12060>
53. Correa Ayram, C.A., Mendoza, M.E., Etter, A. and 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. <https://doi.org/10.1177%2F0309133315598713>
54. Worboys, G., Francis, W.L. and Lockwood, M. (eds.) (2010). *Connectivity conservation management: a global guide (with particular reference to mountain connectivity conservation)*. London: Earthscan
55. Watson, J.E.M., Venter, O., Lee, J., Jones, K.R., Robinson, J.G., Possingham, H.P. et al. (2018) Protect the last of the wild, 31 October. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07183-6>

Références des illustrations



56. Didham, R. (2010). The Ecological Consequences of Habitat Fragmentation. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021904>
57. Clevenger, A. P. and Wierzchowski, J. (2006) Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragmented by roads. In Crooks, K. R. and Sanjayan, M. (eds), *Connectivity Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 502–535. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754821.023>
58. Nuñez, T., Lawler, J., Mcrae, B., Pierce, J., Krosby, M., Kavanagh, D., Singleton, P. et al (2013). Connectivity Planning to Address Climate Change. *Conservation Biology*, 27(2), 407-416. <https://doi.org/10.1111/cobi.12014>
59. Proctor, S., McClean, C. and Hill, J. (2011). Protected areas of Borneo fail to protect forest landscapes with high habitat connectivity. *Biodiversity and Conservation*, 20(12), 2693-2704. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0099-8>
60. Bergsten, A., Bodin, Ö. and Ecke, F. (2013). Protected areas in a landscape dominated by logging – A connectivity analysis that integrates varying protection levels with competition–colonization tradeoffs. *Biological Conservation*, 160, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.01.016>
61. Laurance, W. and Useche, D. (2009). Environmental Synergisms and Extinctions of Tropical Species. *Conservation Biology*, 23(6), 1427-1437. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01336.x>
62. Morris, R. (2010). Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1558), 3709-3718. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0273>
63. Trombulak, S. and Frissell, C. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
64. Chen, H.L. and Koprowski, J.L. (2016). Differential effects of roads and traffic on space use and movements of native forest-dependent and introduced edge-tolerant species. *PLoS ONE*, 11(1), e0148121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148121>
65. Shepard, D.B., Kuhn, A.R., Dreslik, M.J. and Phillips, C.A. (2008). Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. *Animal Conservation*, 11, 288-296. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00183.x>
66. Gurrutxaga, M. and Saura, S. (2013). Prioritizing highway defragmentation locations for restoring landscape connectivity. *Environmental Conservation*, 41(02), 157-164. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000325>
67. Ceballos, G., Ehrlich, P. and Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>
68. Tewksbury, J., Levey, D., Haddad, N., Sargent, S., Orrock, J., Weldon, A., Danielson, B., et al (2002). Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 12923-12926. <https://doi.org/10.1073/pnas.202242699>
69. Brudvig, L.A., Damschen, E.I., Tewksbury, J.J., Haddad, N.M. and Levey, D.J. (2009). Landscape connectivity promotes plant biodiversity spillover into non-target habitats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(23), 9328-9332. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0809658106
70. Martensen, A.C., Ribeiro, M.C., Banks-Leite, C., Prado, P.I. and Metzger, J.P. (2012). Associations of forest cover, fragment area, and connectivity with neotropical understory bird species richness and abundance. *Conservation Biology*, 26(6), 1100-1111. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01940.x>

71. Fox, A.D., Henry, L-A., Corne, D.W. and Roberts, J.M. (2016). Sensitivity of marine protected area network connectivity to atmospheric variability. *Royal Society Open Science*, 3: 160494. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160494>
72. Fang, X., Hou, X., Li, X., Hou, W., Nakaoka, M. and Yu, X. (2018). Ecological connectivity between land and sea: a review. *Ecological Research*, 33, 51–61. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1549-x>



73. Grober-Dunsmore, R., Pittman, S.J., Caldwell, C., Kendall, M.S. and Frazer, T.K. (2009). A landscape ecology approach for the study of ecological connectivity across tropical marine seascapes. In: Nagelkerken, I. (ed), *Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems*. Springer, Dordrecht, 493–530. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2406-0_14
74. Earp, H.S., Prinz, N., Cziesielski, M.J. and Andskog, M. (2018). For a world without boundaries: Connectivity between tropical ecosystems in times of change. In S. Jungblut, V. Liebich and M. Bode (eds.), *YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Proceedings of the 2017 conference for YOUnG MARine REsearchers in Kiel, Germany. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93284-2_9
75. Boström, C., Pittman, S.J., Simenstad, C. and Kneib, R.T. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*, 427, 191-217. <https://doi.org/10.3354/meps09051>