

**Comment mener une étude des connectivités à l'échelle régionale (SRCE) ou à échelle intermédiaire (SCoT) ? Une description d'une méthodologie générale en 7 étapes est proposée ici. Elle permet de récapituler les points clés à ne pas oublier. Les exemples développés à large échelle aux Etats-Unis montrent tout l'intérêt d'établir ces cartes régionales pour la prise en compte des continuités à l'échelle locale.**

Analyse de l'article « Toward best practices for developing regional connectivity maps »  
P. BEIR, W. SPENCER, R.F. BALDWIN, B.H. McRAE

Conservation Biology, 2011, 25 (5) : 879-892.

lien : [http://oak.ucc.nau.edu/pb1/vitae/Beier\\_etal.2011.Regional\\_connectivity\\_maps.pdf](http://oak.ucc.nau.edu/pb1/vitae/Beier_etal.2011.Regional_connectivity_maps.pdf)

#### **Intérêt de cet article pour la Trame Verte et Bleue :**

L'échelle des cartes régionales de connectivité dont le processus de réalisation est décrit dans cet article est tout à fait celle des schémas régionaux de cohérence écologique voire celle des schémas de cohérence territoriale. Les plans d'aménagement de la connectivité sont les études à l'échelle locale à mener pour les projets d'aménagement locaux ou les PLU.

La procédure en 7 étapes appliquée ici à l'échelle régionale peut tout à fait être suivie pour la mise en œuvre des plans d'aménagement de la connectivité à l'échelle locale.

#### **Quelques définitions :**

La **connectivité écologique** traduit la capacité d'une zone à permettre les mouvements d'animaux, de flux de gènes et les processus écologiques et d'évolution qui nécessitent de grandes surfaces.

Les **blocs de paysage** (pour la trame verte et bleue française on parle de réservoirs de biodiversité) sont des zones dont la valeur pour la conservation de la biodiversité provient uniquement de leur contenu.

Les **zones de connectivité** (pour la trame verte et bleue française on parle de corridors) dont la valeur pour la conservation provient de leur situation entre blocs de paysage et de leur capacité à permettre les mouvements de plantes et d'animaux entre ces éléments.

La **résolution** d'une carte mesure de la finesse des détails représentés (dans le cas d'une résolution de 100 m on ne pourra pas différencier et distinguer des éléments de moins de 100 m de côté).

L'**étendue** d'une carte traduit la surface de territoire représentée (une commune ou toute une région administrative)

#### **Synthèse de l'article<sup>1</sup> :**

De nombreuses analyses spatialement explicites sont conduites dans le domaine de la conservation de la biodiversité pour définir les zones importantes pour la connectivité écologique.

Le terme « carte » est utilisé ici de manière plus large que pour parler de représentation cartographique. Il regroupe les analyses, les produits et les explications sur comment les produits doivent être interprétés et utilisés. Selon les besoins, ces cartes peuvent être :

De grain grossier : résolution supérieure à 100 m et étendues spatialement (plus de 20 000 km<sup>2</sup>) décrivant donc des centaines de blocs de paysage et de zones de connectivité. Ces cartes sont nommées cartes de connectivité régionale et sont des outils d'aide à la décision et/ou des représentations concises des besoins futurs en connectivité (dans le contexte français, les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique correspondent à ce type de cartes ainsi que les analyses de continuité à l'échelle des SCoT)

---

Cet article de synthèse est issu d'une bibliographie extensive menée sur la base de données Web of Science sur une large gamme de taxons et qui a produit la sélection de 11 000 articles. Un tri ultérieur a retenu 300 articles qui ont été analysés.



De grain fin : résolution inférieure à 30 m et d'étendue inférieure à 100 km<sup>2</sup> elles s'intéressent à 3 à 4 blocs de paysage. Elles ont pour objectif de définir les connectivités dans des zones d'aménagement spécifiques (à l'échelle de la parcelle). Ces cartes sont nommées « linkage design » - terme dont il n'existe pas de traduction française consacrée que l'on pourrait traduire par « plan d'aménagement de la connectivité » – il s'agit de cartes de connectivité locales à l'échelle d'un aménagement ou d'un PLU.

L'article propose une procédure en 7 étapes pour développer une carte régionale de connectivité. Certaines de ces étapes nécessitent des choix de modèles, de seuils de valeurs, de règles de décision pour lesquels il n'y a pas clairement une option qui soit la meilleure. Dans cette situation, il est conseillé de partager avec les utilisateurs et les partenaires, les résultats issus des différents choix possibles afin de valider avec eux le choix.

## **Etapes d'établissement de la carte**

### Etape 1 : Définir l'objectif de la carte

L'objectif doit être clairement défini et il doit être mesurable afin de pouvoir évaluer le succès de la mise en œuvre. Les cartes de connectivité ont souvent deux objectifs :

- Identifier les zones où la conservation de la connectivité doit être prise en compte par des plans d'aménagement de la connectivité pour conduire à renoncer ou diminuer les impacts de projets qui pourraient réduire la connectivité
- Exprimer une vision future de la connectivité écologique afin d'inciter les partenaires à permettre la réalisation de cette vision.

Il est important de noter qu'une carte de connectivité régionale (grain grossier et large étendue) ne peut pas permettre de mettre en place un plan de conservation de la connectivité par contre, elle permet de définir les zones où des plans locaux d'aménagement de connectivité doivent être développés.

Si les parties prenantes élargissent les enjeux au-delà de la conservation de la biodiversité en incluant des entités qui n'ont pas de statut de conservation mais des enjeux de production ou de réalisation de leurs intérêts économiques, les cartes produites sont rarement aptes à conserver ou restaurer les éléments, les fonctions et les processus écologiques.

Une carte de connectivité à objectif unique peut fournir un indice de référence permettant aux décideurs d'évaluer les compromis entre connectivité et autres objectifs.

### Etape 2 : Etablir des collaborations

Pour augmenter les chances de mise en œuvre, les parties doivent être impliquées à chaque étape du processus de planification. Les utilisateurs potentiels d'une carte de connectivité régionale doivent participer à définir la région concernée (étape 3), décider de quels types de zones doivent être connectées (étape 4) et approuver les plans issus des étapes 5 et 6.

Il est important d'identifier les utilisateurs potentiels de la carte et de choisir parmi eux des conseillers techniques qui participeront aux groupes de travail définissant les données utilisées, les modèles et les critères de cartographie. Un comité de pilotage représentant les partenaires majeurs accompagne les analystes dans la gestion du projet.

### Etape 3 : Définir la région

Dans de nombreux cas, l'étendue de la carte correspond à des frontières administratives ou basées sur des politiques mais aussi à des limites éco-régionales.

Une carte de très grande étendue permet souvent de stimuler la production de cartes à des échelles plus fines qui sont souvent plus pertinentes car ce sont des échelles de projets d'aménagement et de décisions de planification de l'usage du sol.

Définir une large zone est intéressant afin de diminuer l'effet bordure (plus de connexions sont en cœur de zone d'étude). D'un autre côté, dans une grande zone, les contextes environnementaux et de planification sont plus hétérogènes. Pour prendre en compte l'hétérogénéité environnementale des sous-régions homogènes peuvent être définies en appliquant par exemple des valeurs de seuil spécifiques à chaque éco-région.

Il peut être intéressant d'avoir une zone de cartographie plus large que la région que l'on veut étudier afin d'inclure les connexions avec des éléments de paysage en dehors de la délimitation de la zone étudiée. Des

bordures de 80 à 100 km ont ainsi été cartographiées respectivement au-delà des limites de l'Etat de Californie et de Washington.

#### Etape 4 : Délimiter les blocs de paysage naturel

Une étape cruciale de toutes les cartes de connectivité consiste à définir les entités qui doivent être connectées. Plusieurs approches peuvent être utilisées pour définir les blocs de paysage naturel : demander à des experts de les dessiner à la main, sélectionner de zones de grande intégrité écologique, sélectionner tout ou partie de zones protégées, utiliser un algorithme d'optimisation de choix de zones qui regroupent différents enjeux, utiliser des cartes de conservation de la biodiversité existantes, développer des cartes sur la base des habitats connus ou modélisés pour un groupe d'espèces, utiliser les barrières linéaires (autoroutes par exemple) pour modifier les blocs de paysage naturel.

C'est souvent un mélange de toutes ces approches qui est utilisé ou des délimitations d'habitat important pour un groupe d'espèces d'intérêt. Il n'est pas certain que se baser sur des espèces apporte beaucoup plus que de prendre les zones en bon état écologique.

##### Opinion d'expert :

Cette méthode peut être rapide car un expert peut mobiliser sa connaissance du terrain et des informations non publiées pour dessiner rapidement des blocs de paysage sur une grande étude et à moindre coût. Mais cette approche n'est pas transparente et n'est pas reproductible. La transparence peut être améliorée en conservant trace des discussions et en explicitant le processus de décision de l'expert.

##### Zones de grande intégrité écologique

L'intégrité écologique traduit le degré de couverture du sol naturelle c'est-à-dire une faible densité de route, des usages du sol extensifs et peu de perturbation par les activités humaines. Elle est calculée sur la base d'une pondération de ces différentes variables et en appliquant un seuil permettant de définir si la zone considérée comme un bloc de paysage naturel. Des algorithmes de lissage peuvent permettre d'intégrer ou non dans un bloc des zones ou éléments linéaires dont l'intégration écologique est moindre mais qui ne créent pas une rupture dans l'intégrité de la zone.

Les cartes basées sur l'intégrité écologique peuvent être difficiles à paramétrer avec des données de terrain car elles ne se basent pas sur les flux mesurables comme les mouvements d'espèces par exemple.

Cette approche est transparente, reproductible et assez facile à mettre en œuvre. Elle peut aussi être complétée avec des analyses basées sur des espèces.

Pour maximiser la transparence, il est recommandé de prendre un faible nombre de critères faciles à comprendre (par exemple le pourcentage d'occupation du sol naturelle et la densité des routes). Il est possible de produire plusieurs cartes en variant les règles, la pondération des critères ou les valeurs de seuil et de choisir avec les utilisateurs les seuils et règles qui produisent les cartes les plus lisibles et utiles.

##### Zones protégées

Il s'agit de sélectionner toutes les zones relevant d'un certain niveau de protection (au sens de la classification UICN par exemple), un critère de taille minimale peut être appliqué lors de la sélection et les zones contigües sont classées en un bloc de paysage. Cette approche a l'avantage d'être centrée sur des zones qui ne subiront pas de modification d'usage dans le futur mais ne prend pas en compte des zones d'intérêt qui ne seraient pas encore protégées. Pour pallier cela, il est possible de combiner les zones protégées et les zones de grande intégrité écologique.

##### Algorithme d'optimisation des sites

Ces algorithmes maximisent la représentation de cibles de conservation (espèces, populations ou communautés) pour un coût minimal (prenant en compte la valeur du terrain et la longueur de périmètre car il est plus coûteux de gérer un espace à grand périmètre qu'un espace compact).

Les zones de haute priorité définies par l'algorithme peuvent être considérées comme des blocs de paysage naturel ou être combinées avec d'autres approches pour définir les blocs de paysage naturel.

Ces algorithmes peuvent ensuite servir lors de la mise en œuvre pour aider à prioriser les efforts de conservation des connectivités (étape 7).

Utiliser seulement cette approche peut conduire à ne proposer des cartes qu'avec les plus petites zones de paysage nécessaires pour atteindre les objectifs de conservation. Il est préférable d'identifier les connexions potentielles pour tous les blocs de paysage naturel de la région.

##### Cartes existantes de priorité de conservation

Les cartes développées par des agences de conservation de la nature pour identifier les espaces qu'elles veulent protéger peuvent servir à désigner les blocs de paysage naturel. Cependant ces cartes ne prennent généralement pas en compte les grands espaces fonctionnels avec peu d'espèces patrimoniales. En outre, des habitats identifiés comme critiques et quelques espèces rares peuvent exister dans des secteurs à faible pourcentage de milieu naturel ou sur de toutes petites zones isolées.

Il est aussi possible d'utiliser les cartes de zones humides, les cartes de sites à forte diversité en espèces ou de localisation d'espèces menacées.

Toutes ces cartes doivent couvrir la totalité de la région étudiée sous peine d'introduire un biais (par exemple ne pas utiliser une carte qui ne prend en compte que les terrains d'état et pas les terrains privés). En raison de ces biais, ces cartes sont peu utilisées généralement comme base de définition des blocs de paysage naturel.

#### Cœurs d'habitat pour une espèce ou un groupe d'espèces

Les cartes d'habitat d'espèce connu ou modélisé peuvent être utilisées pour définir les blocs de paysage naturel. Dans le nord de l'Italie, des zones cœur ont été définies pour un groupe d'oiseaux forestiers et de carnivores comme des zones à superficie minimale et nombre de points de détection minimum de ces espèces sur 1000 points prospectés.

Cependant les distributions d'espèces sont coûteuses à acquérir pour des espèces nombreuses sur une grande surface, donc beaucoup de chercheurs utilisent des modèles ou des distributions d'espèces à dire d'expert.

Cette approche par espèces est souvent appréciée des gestionnaires d'espaces à objectif de conservation d'espèces et d'agences. De plus les connexions sont destinées à améliorer les déplacements des espèces et se baser sur les zones d'intégrité écologique peut ne pas prendre en compte les besoins de certaines espèces. Par contre, il est difficile de sélectionner des espèces focales capables de représenter tous les milieux d'une région

#### Les barrières linéaires comme frontières des blocs

Sauf si elles sont équipées de passages à faune, les routes, les voies ferrées et les canaux peuvent empêcher les flux de gènes pour les mammifères, les reptiles, les amphibiens et les oiseaux sédentaires. Il est donc raisonnable de couper les blocs identifiés au départ en unités plus petites délimitées par ces barrières linéaires.

#### Etape 5 : Déterminer quelles paires de blocs vont tirer bénéfice d'une connectivité

Le processus est d'identifier les liens qui vont relier les paires de blocs de paysage pour les connecter. Ces « traits » peuvent être remplacés par des polygones représentant les secteurs où la connectivité est à restaurer.

Une région constituée de 100 blocs de paysage conduit à 4950 liens possibles pour relier tous les blocs deux à deux. Cependant il n'est pas nécessaire de relier tous les blocs ensemble. Une procédure simple peut identifier les blocs qui sont adjacents ou qui sont près d'un bloc donné. Des procédures plus complexes peuvent identifier les blocs importants et pour lesquels la restauration de la connexion est faisable.

Par exemple en Californie, 6 règles ont été appliquées sur une carte de 850 blocs :

- 1- Connecter chaque bloc à au moins un voisin,
- 2- Créer plus d'une connexion pour un grand bloc (>500 km<sup>2</sup>) ou un groupe de grands blocs,
- 3- Ne pas dessiner un lien qui traverse un milieu trop différent du milieu représenté dans le bloc (connectivité improbable),
- 4- Minimiser les redondances en supprimant en priorité les liens qui traversent des couverts et des usages du sol trop différents de ceux des blocs,
- 5- Ne pas supprimer un lien dont l'occupation du sol est identique à celle des blocs même si la connexion peut être établie par une suite d'autres liens,
- 6- Placer un lien entre deux blocs séparés uniquement par une barrière linéaire si la connexion peut être restaurée par la mise en place d'un passage à faune.

#### Etape 6 : Décrire les zones de connectivité

Si les moyens sont suffisants en temps et en argent, il est intéressant de développer un plan détaillé d'aménagement de la connectivité pour chaque lien identifié. Bien souvent la limitation des ressources conduit à identifier des secteurs où rétablir la connectivité en repoussant à plus tard la définition du plan d'aménagement de la connectivité. Les types de représentation de ces liens utilisables sont le trait, une flèche tracée à la main ou un polygone.

Un trait est une localisation raisonnée d'une connectivité potentielle entre deux blocs proches séparés

uniquement par une barrière linéaire. Cependant le trait ne permet pas de décrire le milieu et de calculer comment un projet pourrait affecter la connectivité.

Les flèches dessinées à la main peuvent décrire beaucoup de connexions à moindre coût mais pas de manière transparente ou reproductible. Un polygone est plus spatialement explicite qu'une flèche.

Les polygones modélisés sont produits par une procédure transparente et reproductible, la méthode de moindre coût est recommandée. Elle utilise comme entrée de base, une carte des surfaces de résistance traduisant la difficulté de mouvement (d'animaux ou de flux) associée à chaque cellule de la carte.

La modélisation peut se faire séparément pour chaque espèce focale retenue et ensuite les corridors de moindre coût de chaque espèce sont agglomérés dans un plan d'aménagement de connectivité préliminaire. Cette méthode est recommandée si l'association des corridors pour chaque espèce focale permet le déplacement de toutes les autres espèces. Les corridors pour seulement quelques espèces focales notamment si ce sont des espèces généralistes ne vont pas permettre le déplacement d'espèces à besoins, particuliers. Cette méthode a l'avantage de pouvoir estimer empiriquement la résistance aux mouvements à partir de mouvements observés ou de patrons génétiques. Cependant la résistance est souvent définie à dire d'expert.

L'autre voie est de conceptualiser les surfaces de résistance à partir de la naturalité en considérant que quand la naturalité augmente la résistance aux mouvements décroît. Cette procédure est simple, reproductible et facile à comprendre. Néanmoins, ces liens identifiés par la naturalité peuvent ne pas contenir assez de diversité et continuité de couverture de végétation pour permettre la connectivité pour des espèces spécialistes. Autre inconvénient, les scores de résistance sont souvent choisis subjectivement.

Les auteurs recommandent de faire varier les valeurs de résistance d'un facteur d'au moins 100 en affectant la valeur la plus forte au milieu le plus dégradé.

Des logiciels permettent de calculer les chemins de moindre coût mais la principale difficulté est de fixer le seuil qui définit si un espace est perméable ou non. Les auteurs conseillent d'expérimenter une gamme large de valeurs sur plusieurs situations contrastées de liens et de retenir ceux qui englobent les mouvements des espèces locales.

Si la carte doit être utilisée comme un outil de décision, il faut qu'elle représente des zones de connectivité relativement grandes. En effet, comme la carte régionale est relativement imprécise et ne peut concerner que quelques espèces, plus la zone est large plus elle permettra d'inclure la zone de connectivité qui sera définie à échelle plus fine lors de la définition du plan d'aménagement de la connectivité locale. Plus elle permettra aussi de prendre en compte les adaptations qui devront accompagner le changement climatique.

Les polygones de bord de cours d'eau ne sont généralement pas identifiés comme lien de connexion par les chemins de moindre coût mais en raison de leur fréquente utilisation comme couloir de déplacement, il est recommandé de les inclure comme liens dans la carte régionale de connectivité.

#### Etape 7 : Fournir des conseils aux utilisateurs finaux

La carte de connectivité ne peut pas être utilisée seule. Pour quelle soit un outil d'aide à la décision, elle doit être accompagnée d'informations permettant aux partenaires de comprendre quels sont les liens les plus importants en fonction de leurs enjeux parfois contradictoires. C'est pourquoi, il est préconisé de fournir avec la carte des descripteurs statistiques de chaque bloc de paysage et de chaque zone de connectivité.

Si l'on veut définir les priorités de tous les utilisateurs, les auteurs suggèrent d'identifier un ensemble de zones de connectivité dont la conservation ou la restauration serait optimal pour créer un réseau des blocs de paysage naturel dans la région.

Si la carte est basée sur la connectivité pour des espèces focales, la documentation l'accompagnant devrait préciser en quoi ce réseau peut être efficace pour de toutes les espèces.

Une stratégie de communication vers les utilisateurs pertinents (planificateurs, élus...) et vers la société civile est indispensable pour faire comprendre l'importance des corridors et la valeur de la carte par des outils adaptés à chaque groupe d'acteurs.

#### **Approches émergentes pour l'analyse de la connectivité**

Les modèles basés sur les mouvements individuels sont une alternative aux chemins de moindre coût. Ils n'ont pas encore été utilisés pour des cartes régionales de connectivité en raison du manque de données nécessaires au paramétrage du modèle (notamment taux de mortalité dans différents usages du sol, informations sur le comportement de déplacement des espèces...).

Les méthodes issues de la théorie des graphes comme les chemins de moindre coût, la théorie des circuits ou l'analyse de centralité peuvent être utilisées pour prioriser les analyses en identifiant les secteurs des zones de connectivité où les mouvements sont contraints et en définissant comment chaque bloc de paysage ou lien contribue à la connectivité de la totalité du réseau. Ces analyses peuvent se faire sans

forcément définir des blocs de paysage (donc en rassemblant en une seule, les étapes 4 à 6).

### **Cartographier les zones qui peuvent assurer la connectivité dans le contexte du changement climatique**

Les exemples actuels de cartes de connectivité régionale sont basés sur les paysages actuels. Or le changement climatique va modifier les communautés végétales voire les couvertures du sol. Trois approches peuvent produire des cartes des zones assurant la connectivité pendant ou après des périodes de changement rapide du climat : les corridors temporels, les unités terrestres écologiques et la naturalité.

La modélisation des corridors temporels permet de définir le déplacement des zones propices aux espèces en fonction du changement climatique. Cette approche combine des modélisations des émissions futures de gaz à effet de serre, des modèles de réponse de l'atmosphère et des océans à ces gaz à effet de serre et une modélisation de l'enveloppe bioclimatique pour chaque espèce. Un modèle de chaîne de dispersion ou un modèle de réseau de flux identifie les cellules avec des conditions climatiques propices suffisamment longtemps pour que les espèces puissent s'y établir quand leur situation initiale est devenue défavorable. Ces modélisations sont fortement contraintes par les incertitudes sur les scénarios d'émission de gaz à effet de serre. C'est pourquoi il est recommandé afin d'avoir des résultats plus robustes de faire tourner les modélisations de corridor avec plusieurs scénarios et modèles climatiques et de ne conserver que les corridors identifiés par l'ensemble des modélisations.

Une autre approche, permettant de s'affranchir des scénarios d'émission de gaz à effet de serre, est de définir des unités écologiques c'est-à-dire, des zones relativement homogènes du point de vue de leur topographie, exposition et sol. L'hypothèse clé est que les zones de conservation avec suffisamment de diversité, de mosaïque et de continuité d'unités écologiques pourront assurer la survie et le déplacement des populations de nombreuses espèces en cas de changement climatique. Elles peuvent ainsi être considérées comme des corridors.

Cette même approche peut être faite avec les grandes zones de naturalité qui peuvent dans des paysages très anthropisés être considérées comme des corridors potentiels permettant l'adaptation des populations au changement climatique.

### **Impact sur la société des cartes de connectivité régionale**

Les auteurs analysent les conséquences de la production de deux cartes régionales (Californie et Arizona). Ils considèrent que ces études ont profondément changé la façon dont la connectivité était traitée dans ces Etats. Dans le cas de la planification des infrastructures de transport, la production des cartes a permis la prise en compte très en amont des projets autoroutiers, des corridors à préserver et la mise en place effective de mesures de réduction d'impacts (passages à faune et clôtures).

La carte régionale et les plans d'aménagement de la connectivité qui en ont découlé ont aussi orienté l'acquisition d'espaces naturels visant à renforcer la connectivité (sur 100 000 ha en Californie).

La production de cartes régionales a partout augmenté considérablement l'intérêt porté aux continuités dans les planifications locales. Elle a aussi contribué à faciliter les collaborations entre agences gouvernementales (chargée de l'environnement et du transport notamment) ainsi qu'avec les ONG dans un objectif d'améliorer la connectivité.

Produire une carte de connectivité régionale est une opération à haute valeur ajoutée qui fournit une vision et des points d'alerte aux décideurs et aux administrations dans le cas de projets pouvant impacter la connectivité. Ces cartes ne sont pas applicables directement : elles doivent orienter les études à échelle plus fine pour produire les plans d'aménagement de la connectivité à l'échelle des projets.

### **Commentaire :**

Les schémas régionaux de cohérence écologique en France correspondent à cette définition des cartes régionales de connectivité et respectent globalement les étapes décrites (avec des variations selon les méthodes choisies par les régions). L'exemple américain de l'impact sur la société de la production de cartes régionales de connectivité est encourageant pour la mise en œuvre de la Trame verte et bleue à l'échelle locale des plans d'urbanismes et des projets d'aménagement.