

Mise au point d'une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie

Synthèse bibliographique et proposition d'une démarche

Rapport final

Jérôme Spaggiari, Jean Ichter et Jean-Christophe Lefeuvre

Nouméa, octobre 2010

Convention cadre pluriannuelle d'études n° C.347-10

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à faciliter ou à améliorer la qualité de cette étude par le partage de données, avis et commentaires.

Nous remercions bien sûr les personnels de la province Sud et en particulier Vincent Mary, Anne-Claire Goarant, Francois Le Borgne et Tristan Allignol, de nous avoir confié cette étude mais également de leur appui notamment pour la collecte des documents nécessaires à cette expertise.

Nous remercions aussi tous les membres du groupe de travail « corridors Grand Sud » pour leur engagement dans la première étape de ce projet.

Il nous est également plaisant de souligner l'importante contribution technique et cartographique apportée par Christian Lavoie (Conservation International), Ralf-D Schroers (Spatial Ventures) et Sophie Rouys (Plan d'action pour la sauvegarde du Cagou) sans qui les tests préliminaires des méthodes proposées n'auraient pu être conduits.

Enfin il nous est agréable de remercier toutes les personnes rencontrées, travaillant pour la province Sud, pour des organismes de recherche locaux ou étrangers, pour VALE Nouvelle-Calédonie, pour des associations, pour des bureaux d'étude ou encore à leur compte, de leur disponibilité mais surtout de la qualité des discussions que nous avons eues avec eux dans le cadre de notre mandat.

INTRODUCTION	5
I. QU'EST-CE QUE LA CONNECTIVITE ECOLOGIQUE.....	8
1. Définitions et origines conceptuelles de la connectivité du paysage.....	8
2. Les composantes de la connectivité.....	9
La composante structurelle de la connectivité	9
La composante fonctionnelle de la connectivité	9
3. Avantages et défis	10
II. ÉLEMENTS DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR L'EVALUATION DE LA CONNECTIVITE D'UN PAYSAGE.....	12
1. Connectivité structurelle	12
Mesures basées sur la présence, l'absence ou la nature des continuités	12
Mesures de distances entre les patchs	13
Mesures basées sur la théorie des graphes	15
Mesures basées sur l'abondance d'un habitat dans le paysage	16
Mesures de contagion et de percolation	16
Mesures de la forme des patchs	17
2. Connectivité fonctionnelle.....	19
Mesures basées sur la probabilité de déplacement d'un patch à l'autre	19
Mesures basées sur le temps passé à la recherche d'un habitat favorable.....	19
Mesures basées sur la ré-observation d'individus déplacés	19
Mesures basées sur les taux d'immigration.....	19
Mesures basées sur la perméabilité de la matrice.....	20
3. Synthèse des différentes mesures de connectivité	21
III. RECUEIL D'EXPERIENCES SUR L'IDENTIFICATION DE CONNECTIVITES ECOLOGIQUES	22
1. Expériences internationales.....	22
Bref historique	22
Europe.....	22
Amérique du Nord et Australie	25
Asie et Pacifique.....	25
Amérique latine.....	26
Afrique	27
2. Expériences métropolitaines	29
La méthodologie de la Trame Verte et Bleue	30

3. Réflexions sur la connectivité en Nouvelle-Calédonie	34
Le programme de conservation des forêts sèches.....	34
Grand Nouméa	34
Pindaï-Nékoro	34
Le Grand Sud.....	34
Autres initiatives.....	35

IV. SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES DISPONIBLES ET *A PRIORI* UTILES A LA DEFINITION DES ENJEUX LIES A LA CONNECTIVITE ECOLOGIQUE..... 36

1. Synthèse des connaissances sur les milieux naturels	36
La cartographie des milieux naturels de la province Sud	36
Autres cartographies de milieux naturels	37
Les photographies aériennes	37
2. Synthèse des connaissances sur les espèces	40
Flore	40
Faune.....	41
3. Synthèse des connaissances sur les menaces.....	47
Les incendies	47
Les espèces exotiques envahissantes (EEE),	48
L'exploitation minière	49
L'érosion.....	51
Pistes et routes.....	51

V. IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX ENJEUX LIES A LA MISE EN ŒUVRE D'UN PROJET DE MAINTIEN ET DE RESTAURATION DES CONNECTIVITES 52

1. Considérations écologiques.....	52
2. Considérations institutionnelles.....	53
3. Considérations sociales et individuelles	55
4. Considérations financières	55

VI. DEMARCHE PROPOSEE POUR L'IDENTIFICATION ET LA CARACTERISATION DE CONTINUITES ECOLOGIQUES EN NOUVELLE-CALEDONIE..... 56

1. Remarque préliminaire.....	56
2. Principales étapes de la démarche.....	56
1. Identifier la donnée disponible	56
2. Intégrer la donnée disponible à un SIG et la rendre utilisable	56

3. Déterminer précisément le périmètre d'étude	57
4. Identifier les zones nodales ou réservoirs de biodiversité	58
5. Cartographier les sous-trames	58
6. Caractérisation et cartographie de la connectivité structurelle	59
7. Cartographie de la connectivité fonctionnelle par l'analyse de la perméabilité	61
8. Identification des ruptures de continuité	62
9. Prise en considération d'éléments de contexte	63
Remarques importantes	63
CONCLUSIONS.....	63
BIBLIOGRAPHIE	65
LISTE DES FIGURES	73
LISTE DES TABLEAUX.....	73
LISTE DES ACRONYMES.....	74
ANNEXES	

Introduction

La Nouvelle-Calédonie abrite une diversité biologique exceptionnelle qui lui a valu d'être inscrite sur la liste des 10 premiers points chauds de la biodiversité mondiale identifiés par Myers (1988), liste allongée à 20 puis plus récemment à 34 sites (Mittermeier, Werner et al. 1996; Myers, Mittermeier et al. 2000; Mittermeier, Gil et al. 2004). Elle accueille également quatre des 238 écorégions prioritaires mondiales (Olson and Dinerstein 2002). Plus récemment dans un article soulignant l'importance des îles océaniques dans la contribution à l'effort de conservation de la biodiversité mondiale, Kier, Kreft et al. (2009) ont montré que la richesse endémique de la Nouvelle-Calédonie (*endemism richness*), indice combinant la diversité spécifique et l'endémisme, est la plus importante du monde.

Les lagons de Nouvelle-Calédonie et leurs récifs font partie des plus riches de la planète et sont en bon état de conservation (Roberts, McClean et al. 2002; Allen 2008), ce qu'a reconnu l'UNESCO en les inscrivant sur la liste du Patrimoine mondial de l'Humanité en juillet 2008 (Comité local IFRÉCOR 2008).

Par ailleurs, le Grand Sud de l'île qui possède une histoire géologique unique a favorisé le développement d'une flore exceptionnelle. Les forêts humides de cette région et leur stade de dégradation que constituent les maquis, possèdent le taux d'endémisme le plus élevé de toutes les unités de végétation néo-calédonienne soit 82,4 %, ce qui représente 1 121 espèces, 68 genres et 4 familles. Une partie de cette ressource végétale a été utilisée et de nombreuses forêts du Grand Sud, pour ne pas dire toutes, ont été exploitées. La même histoire géologique a favorisé l'accumulation dans le sous-sol de métaux lourds qui font l'objet d'une exploitation minière déjà ancienne et qui se poursuit encore aujourd'hui avec de grands projets industriels. Cette activité a généré d'importants désordres environnementaux notamment ceux consécutifs aux actions de prospection ou de transport qui favorisent les incendies. Aujourd'hui les acteurs miniers sont davantage impliqués dans la préservation de l'environnement. L'un d'eux, VALE NC, a signé une convention avec la province Sud afin de conserver « la capacité globale d'évolution de la biodiversité et la préservation à long terme des équilibres biologiques, au moyen de toutes dispositions nécessaires au maintien des processus naturels garants de ces équilibres ».

C'est dans ce cadre que la Direction de l'environnement de la province Sud a souhaité initier, en complément de ses autres actions environnementales, une réflexion sur la mise en place de corridors dans le Grand Sud. Notons qu'il existe en effet une grande variété de réalités derrière l'intitulé « corridor » : corridors biologiques, corridors écologiques ou corridors de conservation (voir figure 1), à chacune correspond une échelle d'analyse et une diversité d'acteurs. Toutefois toutes ciblent les mêmes deux objectifs prioritaires :

- maintenir des écosystèmes fonctionnels capable de supporter la conservation des espèces et des habitats ;
- et promouvoir l'utilisation naturelle des ressources et ainsi limiter l'impact des activités humaines sur la biodiversité et de valoriser la biodiversité dans les paysages anthropisés.

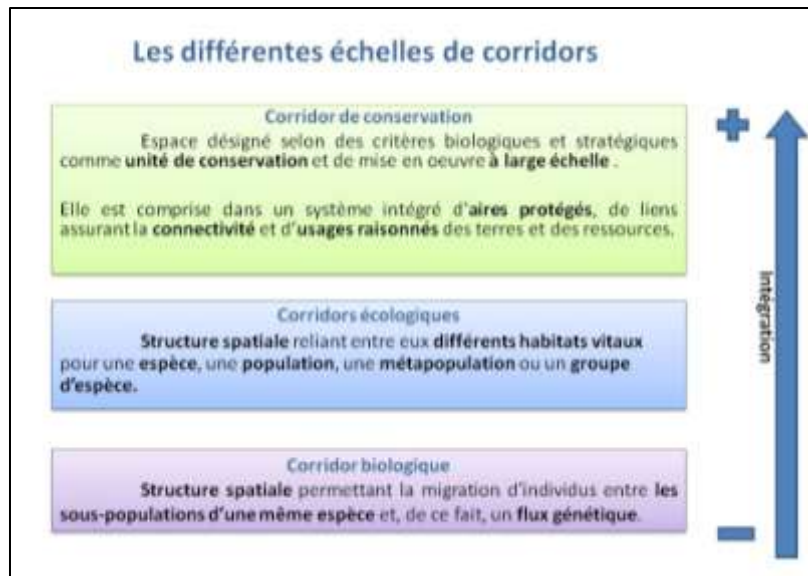


Figure 1 : Les différentes échelles de corridors

D'une manière générale, ils envisagent tous l'affectation d'usages spécifiques à différentes zones du paysage en fonction de leur richesse biologiques et de leur potentiel d'utilisation. En particulier ils identifient :

- des *zones nodales* où la conservation de la biodiversité est prioritaire même s'il ne s'agit pas d'aires protégées ;
- des *corridors* ou structures physiques (e.g. formation linéaire homogène, pas japonais, matrice perméable...) qui contribuent au maintien d'une connectivité écologique entre les zones centrales ;
- des *zones tampons* qui isolent les zones de cœur des agressions extérieures en assurant une transition vers ;
- des *zones d'extension* qui présentent des analogies avec les zones nodales mais dont la qualité ou la surface ne sont pas suffisantes pour les désigner comme telles (il peut s'agir de zones propices à des projets de restauration) ;
- la *matrice* qui est une mosaïque paysagère résultant de l'utilisation des ressources naturelles et du maintien des services écosystémiques (voir figure n°2).

D'un commun accord avec la province Sud il a été retenu de travailler à l'échelle intermédiaire du corridor écologique. Toutefois pour éviter toute confusion dans cette synthèse on parlera préférentiellement de **connectivité** plutôt que de corridor. Ce choix permet en outre de répondre aux nombreux débats contradictoires générés par ce dernier terme définitivement jugé trop restrictif. En effet, le terme « corridor » concentre l'attention sur **une liaison physique et continue** ainsi que sur principalement un type particulier de mouvement que constitue la **dispersion**.



Figure 2 : Schéma de présentation des différents éléments constitutifs d'un réseau écologique. Notons que la matrice n'est pas représentée dans ce schéma mais pourrait correspondre à la zone centrale en blanc. Par ailleurs, les « éléments relais » peuvent également représenter des corridors pour certaines espèces. Source : d'après la Fédération des Parcs naturels régionaux français.

Finalement au-delà du travail technique d'identification des connectivités écologiques de ce territoire ce projet revient à initier une réflexion sur le type d'évolution que nous souhaitons pour le paysage du Grand Sud. Les résultats qui seront obtenus, complété par ceux d'une analyse des informations socio-économiques et des projets d'aménagement, permettront – d'imaginer collectivement différentes options possibles pour atteindre les objectifs de conservation qui auront été préalablement et collégialement définis et – de hiérarchiser les zones où l'action sera la plus pertinente, en terme de coût-bénéfice et dans le cadre d'un calendrier compatible avec les impératifs sociaux et de développement du territoire.

Cette approche globale permettra, en cohérence avec l'ensemble des efforts déjà entrepris et amenés à se poursuivre, de mieux répondre aux enjeux environnementaux futurs et participera – au moyen d'une concertation élargie et nécessaire – à la définition du paysage qu'ensemble nous voulons pour le Grand Sud.

I. Qu'est-ce que la connectivité écologique

1. Définitions et origines conceptuelles de la connectivité du paysage

Le concept de connectivité est apparu dans les années 1980 et son intérêt, évalué par le nombre de publications scientifiques, est resté limité jusque dans les années 1990. Depuis et malgré la multiplication des études, majoritairement descriptives, dont la connectivité fait l'objet, la définition de la connectivité reste confuse. On notera que l'intérêt pour l'étude de la connectivité des milieux dulçaquicoles a été encore plus tardif.

De manière intrinsèque, la connectivité est reliée au **degré de mouvements** qu'ont des organismes, voire certains processus (front de progression des incendies, écoulement hydrique, anémochorie...). En biologie de la conservation l'absence de mouvement, résultat de la **fragmentation** – par ailleurs considéré comme une des principales sources d'érosion de la biodiversité – est encore plus importante. Connectivité et fragmentation sont donc des caractéristiques complémentaires d'un même phénomène.

Le cadre conceptuel de la connectivité d'un paysage relève de quatre éléments :

- **la connaissance empirique** des gestionnaires de la faune et des biologistes de terrain qui reconnaît que certaines espèces nécessitent de l'aide pour traverser des environnements inhospitaliers ou certaines barrières et conserver leur mobilité ;
- **l'écologie du paysage** (i.e. impact du paysage – soit une mosaïque d'habitats dynamique spatialement et temporellement – sur les processus écologiques) qui considère que les mouvements fauniques, au même titre que ceux de l'eau et du vent, contribuent aux flux d'énergies, de nutriments et de matière organique ou non et par conséquent au fonctionnement global des écosystèmes ;
- les modèles de **fonctionnement d'une métapopulation** (i.e. sous-populations géographiquement disjointes et reliées entre elles par des migrations occasionnelles) qui défendent le rôle des mouvements individuels entre isolats pour recoloniser certains patches, pour renforcer certaines sous-populations sur le déclin ou même coloniser de nouveaux espaces ;
- la **théorie des équilibres biogéographiques insulaires** qui prédit que l'augmentation de la connectivité en facilitant les phénomènes de colonisation et en réduisant les risques d'extinction va améliorer la richesse spécifique des isolats.

Pour Taylor, Fahrig *et al.* (1993) dont la définition est la plus souvent citée, la connectivité d'un paysage correspond au **degré avec lequel un paysage freine ou facilite les mouvements** entre différents patches de ressources.

With, Garner *et al.* (1997) pensent quant à eux que la connectivité d'un paysage comme la **relation fonctionnelle entre deux patches d'un habitat** donné et qui résulte de la contagion spatiale de cet habitat ainsi que du mouvement des organismes en réaction à la structure du paysage. Cette définition considère que les organismes sont capables de traverser les limites de leur habitat et de s'aventurer dans les non-habitats, encore appelés matrice, avec comme

conséquences un risque de mortalité et un comportement de déplacement différents de ceux observés dans leur habitat traditionnel.

2. Les composantes de la connectivité

Il est courant de considérer que la connectivité possède une **composante structurelle** et une autre **fonctionnelle** (Tischendorf and Fahrig 2000; Bennett 2003; Uezu, Metzger et al. 2005) que nous allons détailler ci-après.

L'existence d'une zone de recouvrement entre ces deux composantes a poussé Fischer et Lindenmayer (2007) à proposer une autre classification qui comporte trois catégories :

- La *connectivité d'un habitat* qui correspond pour une unique espèce à la connectivité de son habitat préférentiel ;
- La *connectivité du paysage* correspond à une conception anthropocentrée du paysage et repose sur des indicateurs métriques calculés à partir de carte d'occupation du sol ;
- Et la *connectivité écologique* correspond à la connectivité des processus écologiques à leurs différentes échelles. Compte tenu du niveau d'intégration important cette connectivité est complexe à appréhender.

Cette classification récente et encore peu éprouvée n'est mentionnée que pour mémoire.

La composante structurelle de la connectivité

Cette composante structurelle ou physique de la connectivité découle de l'**arrangement spatial**, entre eux, des différents habitats ou d'autres structures (e.g. orographique) d'un paysage. C'est la partie cartographiable de l'arrangement spatial des habitats que l'on a caractérisé au moyen d'indices quantitatifs (e.g. taille effective de maille, dimension fractale... voir détail ci-après).

Elle dépend de la **structure du paysage telle que la continuité, l'étendue et la forme des habitats favorables et non favorables ainsi que la distance séparant deux patches**. Cette composante intègre souvent assez peu d'informations sur les mouvements des organismes ou des processus.

La composante fonctionnelle de la connectivité

Cette composante fonctionnelle ou comportementale correspond à la **réponse comportementale des individus, espèces ou processus à la structure physique du paysage**. Fagan et Calabrese (2006) suggèrent de faire la distinction entre une connectivité potentielle et effective. La première ne considère que des informations basiques et indirectes sur les espèces pour estimer la connectivité d'un paysage alors que la seconde mesure les mouvements réels des individus.

De manière évidente **cette composante est très dépendante de l'espèce considérée**. Elle dépend de son échelle de perception et de déplacement dans le paysage, de ses besoins en termes d'habitat et de son niveau de spécialisation, de son stade de développement, de sa période et de son mode de dispersion et bien sûr de la nature (prédation, compétition, commensalisme, parasitisme...) et du nombre de ses interactions avec d'autres espèces.

3. Avantages et défis

La destruction et la fragmentation des habitats constituent les principales causes proximales de perte de biodiversité dans la mesure où elles restreignent la superficie des habitats favorables disponibles (globalement et au niveau des patches) et en isolent les fragments résiduels limitant les possibilités de mouvements (quotidiens, migratoires ou adaptatifs). Les effets de l'isolement concernent tous les taxons. Ses causes nombreuses peuvent être soit exogènes (i.e. indépendantes de la biologie de l'espèce comme par exemple la modification des habitats ou les catastrophes naturelles) soit endogènes (i.e. liées à la biologie de l'espèce comme par exemple le changement de comportement de dispersion ou la dérive génétique) et soit déterministes (ont des conséquences prévisibles) soit stochastiques (ont des effets plus imprévisibles). Elles favorisent le déclin des populations voire leur extinction.

- La meilleure stratégie pour prévenir ces risques consiste à maintenir de larges populations au sein de vastes étendus d'habitats favorables. Toutefois il est également conseillé d'assurer le maintien et à défaut la restauration de la connectivité qui favorise de manière certaine la préservation des espèces et de leur habitats ; néanmoins il convient de réfléchir à la possibilité de certains inconvénients potentiels (voir tableau 1). Par ailleurs ces éléments de connectivité – en particulier les corridors physiques d'habitats, la végétation ripicole, les haies et les accotements végétalisés – jouent d'autres rôles écologiques et contribuent globalement à certains objectifs de conservation tels que le maintien d'habitats favorables et l'hébergement d'un grand nombre d'espèces (Hobbs, Saunders et al. 1993).

Tableau 1: Résumé synthétique des avantages possibles et attendus ainsi que des inconvénients à envisager lors d'opérations visant à maintenir ou à restaurer de la connectivité. Source : d'après Crooks et Sanjayan

Avantages possibles et attendus	Inconvénients à envisager
Accroître l'immigration à l'intérieur d'un patch donné avec comme conséquences : • Une augmentation ou un maintien la diversité spécifique • Une diminution du risque d'extinction des petites populations isolées par un apport d'individus nouveaux • Une recolonisation de populations localement éteintes et un renforcement du fonctionnement des métapopulations • Une prévention de la consanguinité et une amélioration de la diversité génétique d'une population	Accroître l'immigration à l'intérieur d'un patch donné avec comme conséquences : • La dispersion accrue de maladies infectieuses • La dispersion accrue de prédateurs et de compétiteurs exogènes • La dispersion accrue d'espèces exotiques envahissantes • La diminution de la diversité génétique entre sous-populations • L'observation de dépression exogamique conséquence de la disparition d'adaptation génétiques locales ou de complexes génétiques co-adaptés
Permettre les mouvements quotidiens ou saisonniers relatifs aux besoins principalement alimentaires et reproductifs	Faciliter la prolifération d'incendies de forêts et d'autres perturbations abiotiques catastrophiques
Faciliter la dispersion des animaux de leurs lieux de naissance vers leurs lieux de reproduction	Créer des pièges mortels à l'intérieur des corridors par une exposition accrue des individus à leurs prédateurs, y compris l'homme, et leurs compétiteurs ainsi qu'aux effets lisières délétères
Soutenir les modifications de répartition consécutives des changements climatiques globaux	Les zones ripicoles, souvent recommandées comme corridors, ne favorisent pas forcément la connectivité des zones d'altitude
Fournir une couverture protégeant un individu de son prédateur lors d'un déplacement inter-patch	Coût économique important associé à la conception, à la maîtrise foncière, à la restauration, au maintien et à la protection des corridors
Fournir un habitat favorable aux individus en transit d'un patch à un autre ou occupant un corridor	Compromis voire conflits, dans l'allocation des ressources, avec les autres initiatives environnementales en particulier les stratégies conventionnelles d'amélioration de la protection des habitats des espèces menacées d'extinction
Fournir d'alternatives à d'importantes modifications accidentelles de l'environnement (e.g. feux)	
Maintien de l'ensemble des processus écologiques et des services écosystémiques	
Constituer des « ceintures vertes » limitant l'étalement urbain, atténuant la pollution, créant des opportunités récréatives et améliorant l'esthétique du paysage	Coût politique des changements dans la planification de l'utilisation des sols

Afin de résoudre ce débat Bennett (2003) suggère que la question pertinente n'est plus savoir si l'on doit maintenir ou restaurer la connectivité mais plutôt comment le faire, avec quelles cibles (espèces et processus écologiques) et à quelle échelle.

II. Éléments de la recherche scientifique pour l'évaluation de la connectivité d'un paysage

Une analyse approfondie de la littérature scientifique met en évidence un très grand nombre de mesures de la connectivité d'un paysage. Ces indices sont, plus ou moins intégrateurs, plus ou moins faciles à interpréter et prennent en compte différents paramètres relatifs à la structure et / ou à la fonctionnalité d'un paysage.

Face à la diversité des mesures disponibles et en l'absence de consensus sur la méthode idéale, certains auteurs se sont attachés à définir des typologies pour classer les outils.

Il semble important de préciser qu'il serait erroné de considérer qu'à un paysage donné correspond une seule mesure de connectivité. En choisissant ses outils, le gestionnaire influence le type et le niveau de connectivité.

Deux typologies récentes (Fagan and Calabrese 2006; Kindlmann and Burel 2008) bien que différentes se basent sur la distinction entre connectivité structurelle et connectivité fonctionnelle.

Fagan et Calabrese (2006) apportent une distinction supplémentaire en décomposant la connectivité fonctionnelle en « potentielle » ou « effective » (cf. chapitre Typologie des connectivités). Ils définissent leurs catégories en fonction de la nature des données utilisées. En effet, chaque outil mobilise différents types d'informations pour estimer la connectivité. Les différences de données sont, pour ces auteurs, cruciales puisqu'elles conditionnent à la fois la précision de l'indice mais également le niveau de difficulté associé à la collecte de l'information. La typologie utilisée dans le cadre de cette présentation se base sur la publication la plus récente disponible (Kindlmann and Burel 2008). Dans un souci d'exhaustivité, nous avons ajouté une catégorie supplémentaire à l'approche structurelle pour y intégrer les mesures relatives à la forme des patches.

1. Connectivité structurelle

Mesures basées sur la présence, l'absence ou la nature des continuités

Cette première catégorie se base sur un modèle de paysage dit de patch-matrice-corridor. **La connectivité résulte de la présence exclusive de corridors** entre les différents patches d'un paysage, la matrice étant imperméable au mouvement des organismes. Elle s'oppose à la fragmentation qui correspond au degré de séparation entre les patches.

Ce concept procède de l'hypothèse que **les organismes ne s'aventurent pas dans les non-habitats**. Au sens strict, on entend par corridor une bande étroite et continue d'habitat reliant structurellement deux patches d'habitats autrement discontinus. Il est également possible de considérer les corridors dans un sens plus large en prenant en compte les connections de type « pas japonais » ou *stepping stones*.

Les indicateurs sont donc liés à l'évaluation de la présence / absence de corridors, de leur nombre et des mesures de leur largeur et de leur continuité.

Cet indicateur est intéressant car relativement simple à mettre en œuvre. Pour autant, il ne permet pas d'identifier les corridors.

Par ailleurs, il faut également prendre en compte le fait que ce modèle considère la matrice comme non-perméable aux mouvements des individus. Cette hypothèse n'est pas valable pour toutes les espèces et doit être évaluée au regard de leurs modes de dispersion.

Mesures de distances entre les patches

La connectivité structurelle est également souvent évaluée au moyen des **distances euclidiennes** séparant deux ou plusieurs patches.

Dans cette catégorie, la mesure la plus simple est celle de la distance au voisin le plus proche (*nearest-neighbor-distance*). Cette analyse spatiale est une fonction intégrée dans la plupart des logiciels SIG. Des études prouvent cependant que celle-ci est beaucoup moins efficace pour détecter un effet significatif de connectivité que d'autres mesures plus complexes (Moilanen and Nieminen 2002). En Nouvelle-Calédonie, le travail de Matthews (2005) sur les forêts sèches du grand Nouméa montre que les distances euclidiennes représentent assez mal la fragmentation en comparaison des distances fonctionnelles (cf. chapitre Approche fonctionnelle).

Des approches plus complexes intègrent pour une espèce donnée l'ensemble des patches qui lui sont accessibles, c'est-à-dire ceux dont la distance est inférieure à la distance de dispersion estimée de cette espèce. Une application directe de cette mesure de la connectivité est la technique de dilatation-érosion (cf. encadré 1).

Toutes ces mesures ont l'avantage de **considérer la matrice comme perméable aux mouvements des organismes** (à la différence de l'approche précédente). Toutefois ces approches occultent l'hétérogénéité entre le patch et la matrice et ne prennent pas en compte les différences comportementales des organismes propres à chacun de ces éléments.

Partant de ce constat, des améliorations ont été proposées en intégrant à la méthode des données liées la biologie des espèces et des populations :

- **ESLI - (Ecologically Scaled Landscape Indices)** (Vos and Chardon 1998). Ce modèle hollandais se base sur deux indicateurs : la capacité de charge moyenne des patches et la connectivité moyenne entre patches. La capacité de charge d'un patch est le ratio entre sa superficie et l'aire minimale d'une unité de reproduction (un couple d'oiseaux par exemple). La connectivité est, quant à elle, définie par la distance entre les patches pondérée par la superficie et la capacité de dispersion de l'espèce considérée ;
- **IFM - Incidence Function Model**. Il s'agit d'une modélisation des métapopulations, qui permet de définir la probabilité de colonisation / extinction d'une espèce au sein d'un

patch (Cabeza and Moilanen 2003). Ce modèle intègre des variables de mobilité des espèces, d'isolement et de superficie des patches.

Encadré 1 : Application des patches par dilatation-érosion

Pour identifier d'un point de vue paysager les connections potentielles entre des patches d'habitats favorables, il est possible d'appliquer un traitement dit de « dilatation-érosion ».

Ce traitement se fait en deux étapes. Dans un premier temps, chaque polygone de l'habitat favorable considéré est « dilaté » par une zone tampon dont la largeur correspond à la distance de dispersion estimée de l'espèce-cible.

Cette dilatation permet de regrouper certains éléments initialement séparés qui entrent en contact et forment des « agrégats ». Ces agrégats correspondent alors à des zones potentiellement connectées. La dilatation permet ainsi de distinguer les zones potentiellement bien connectées des zones potentiellement peu ou pas connectées. Cette distinction reste théorique car elle ne repose que sur le seul critère de distance et ne prend pas en compte la perméabilité différentielle de la matrice.

Cette dilatation est alors complétée par une étape d'érosion (ou de contraction) d'une épaisseur identique à la dilatation qui va permettre de mettre en évidence les zones de connections potentielles entre les patches. Ainsi toutes les zones de l'auréole de dilatation qui ne permettaient pas de fusionner deux taches sont « supprimées ». Seules les zones ayant permis de fusionner deux taches sont conservées correspondant aux zones de connexions potentielles les plus directes du paysage étudié.

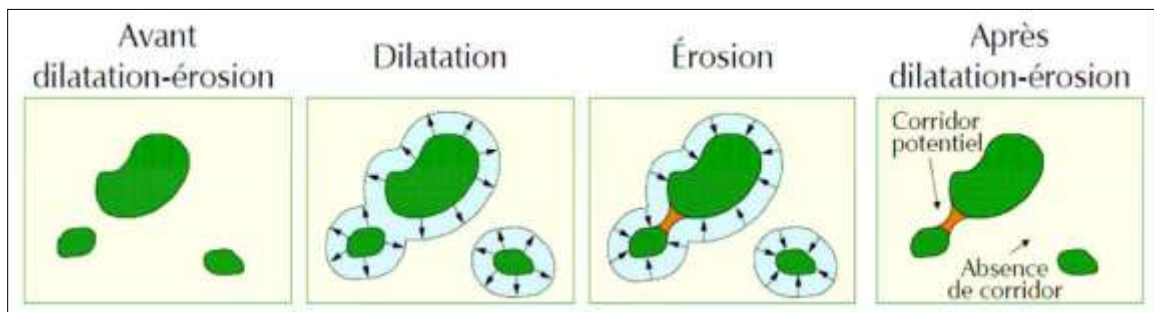


Figure 3 : La technique de « dilatation-érosion ». Source : Guide méthodologique trame verte et bleue (COMOP TVB 2009)

Mesures basées sur la théorie des graphes

Cette méthode associe à une cartographie des habitats des connaissances sur la dispersion des espèces focales. Elle considère en particulier la **capacité de déplacement d'une espèce** à travers une matrice paysagère en dehors de son habitat préférentiel.

Le paysage est alors représenté selon un ensemble de points, dont certaines paires sont directement reliées par un lien. Dans un graphe, les points sont appelés les *sommets* (en référence aux polyèdres) ou les *nœuds* (en référence à la loi des nœuds). Les liens sont appelés *arêtes* dans les graphes non-orienté et *arcs* dans un graphe orienté.

L'algorithme de la théorie des graphes (algorithme de Dijkstra) permet de calculer le **chemin de moindre coût** permettant de se rendre d'un point à un autre. Ce calcul se base sur l'hypothèse que les organismes auront plus de chances de se disperser avec succès s'ils empruntent le chemin qui leur oppose la moindre résistance. Bien que simple, cette supposition s'est révélée efficace pour prévoir les mouvements inter-patches (Sutcliffe, Bakkestuen et al. 2003).

Deux approches sont communément utilisées :

- Les flux de dispersion en fonction de la superficie (*area-weighted dispersal flux*) ;
- La traversabilité (traversability).

De nombreux logiciels SIG intègrent le calcul du chemin de moindre coût dans leurs outils d'analyses spatiales (Pinto and Keitt 2009). En complexifiant le graphe, il est possible d'aller plus loin en modélisant en détail la structure du paysage. Il est par exemple possible de simuler la destruction de patches ou de corridors (Urban and Keitt 2001). Cela permet de démontrer qu'une perturbation localisée peut avoir un impact sur les voies de dispersion à large échelle (Pinto and Keitt 2009). En prenant en compte à la fois les notions d'échelle et l'importance relative de chaque patch pour la connectivité du paysage, **cette approche crée un pont entre l'échelle du patch et celle du paysage** (Fagan and Calabrese 2006).

Partant du principe qu'il n'existe pas une route optimale unique, Pinto et Keith (2009) proposent une amélioration de ce modèle en prenant en compte plusieurs voies de dispersion. Ils supposent que l'ensemble de ces chemins préférentiels formerait un corridor. Les deux outils développés sont le Coût de transit minimum conditionnel (*Conditional Minimum Transit Cost*) et les Multiples plus courts chemins (*Multiple Shortest Paths*).

Cette approche a été mise en œuvre pour l'identification de la connectivité nécessaire à l'avifaune de la forêt atlantique au Brésil (Pease and Roda 2008).

Mesures basées sur l'abondance d'un habitat dans le paysage

Un certain nombre de mesures de connectivité peuvent être effectuées à l'intérieur d'une zone tampon définie autour d'un patch. Ces méthodes présentent l'avantage d'être assez simple à mettre en place et de considérer la matrice comme perméable aux mouvements des organismes considérés. Leur limite est de ne pas considérer la différence de perméabilité des différents habitats ni la possible rupture de continuité qu'un écotone peut représenter.

La première mesure concerne la superficie d'éléments linéaires au sein de la zone tampon considérée (Vos and Chardon 1998). Cette mesure n'est applicable qu'aux espèces dont la connectivité dépend de corridors linéaires.

La seconde méthode est celle de l'anneau statistique (*statistic ring*) qui évalue la densité moyenne de cellules composées d'un habitat défavorable dans un anneau de rayon r et centré autour d'une cellule composée d'un habitat favorable (Wiegand, Moloney et al. 1999). Cette méthode cherche à caractériser la structure spatiale en fonction de la perception qu'un animal aurait des différents types d'habitats situés à une distance critique de sa propre localisation.

Mesures de contagion et de percolation

Dans cette approche, la connectivité du paysage est considérée en fonction de la contagion spatiale que présente un habitat. Le **paysage est divisé selon un carroyage** à deux dimensions dans lequel chaque cellule est identifiée par une classe d'habitat. On appréhende alors la connexion de ce paysage par le nombre de cellules adjacentes, sur les axes vertical et horizontal, constituées de la même classe d'habitat. Cette méthode part du principe qu'un organisme capable de traverser cet habitat sera à même de traverser le paysage (With and Crist 1995).

Dans la théorie de la percolation (With and Crist 1995), le paysage est comparé à un milieu poreux dans lequel chaque espèce circule plus ou moins facilement. Dans cette méthode, le paysage est découpé selon un carroyage de résolution croissante jusqu'à l'interruption de la continuité des habitats (voir figure 4). On cherche à définir **les seuils à partir desquels on constate une diminution importante de la connectivité**. Les seuils critiques ne sont pas une propriété intrinsèque du paysage mais sont issus de l'interaction d'une espèce avec la structure paysagère. Pour définir dans quelle mesure un organisme est affecté par la fragmentation, il faut considérer sa mobilité, ses besoins en termes d'habitats et sa capacité à se déplacer à travers les différents habitats composant la mosaïque paysagère.

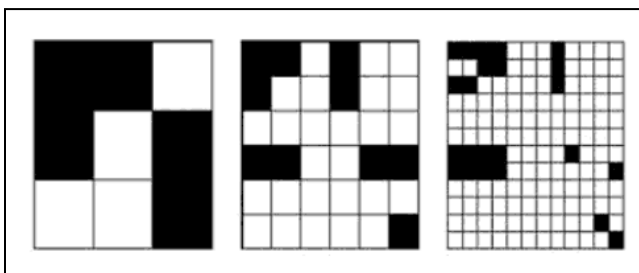


Figure 4 : Les effets de seuils. Source : Fagan et Calabrese (2006)

Mesures de la forme des patches

Les mesures de formes des taches peuvent être utilisées comme paramètres pour **tester l'influence de la structure paysagère sur la connectivité**.

Différents outils existent, tel que le rapport périmètre sur aire (Goodwin and Fahrig 2002), le degré de contiguïté (Lagro 1991; Matthews 2005), le niveau d'agrégation (Jappiot, Phillibert-Caillat et al. 2003), la surface de cœur (Elkie, Rempel et al. 1999) ou l'indice de taille effective (Jaeger, Bertiller et al. 2008).

Bien qu'utiles pour caractériser la structure d'un paysage, les variables liées à l'arrangement de l'habitat (tels que la forme des patches ou la fragmentation de l'habitat) seraient de moins bons indicateurs de connectivité que celles liés à la distance (Goodwin and Fahrig 2002).

Indice de contiguïté

L'étude de la contiguïté s'est révélé être un outil pertinent pour évaluer la modification de la morphologie des patches forestiers (Lagro 1991). Le degré de contiguïté a également permis de comparer l'arrangement spatial des différentes tâches de forêts sèches dans le grand Nouméa (Matthews 2005).

Le logiciel Fragstat propose un indice qui permet d'estimer la contiguïté spatiale moyenne des pixels d'une classe donnée d'occupation du sol. Cet indice est lié à **la configuration des limites du patch** et donne **une mesure de sa forme**. Pour chaque pixel on analyse la nature des pixels adjacents. On attribue alors une valeur positive aux pixels de même nature et une valeur nulle à ceux de nature différente. Le coefficient attribué à des pixels de même nature disposés orthogonalement l'un par rapport à l'autre sera plus important que celui concernant des pixels disposés diagonalement. Ce choix revient à favoriser les patches larges et jointifs par rapport aux patches étroits et fragmentés.

Indice d'agrégation du paysage

L'agrégation est une organisation des éléments dans un modèle qui rapproche les éléments qui sont compatibles et sépare ceux qui le sont moins. L'agrégation peut être un outil de **description de l'arrangement spatial d'un paysage**. L'indice d'agrégation du logiciel Fragstat permet d'exprimer ce paramètre en pourcentage où l'indice= 100 quand toute la classe est agrégée et proche de 0 quand chaque tache est étroite dans une direction et longue dans une autre.

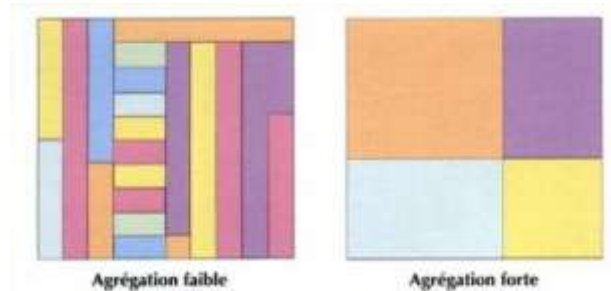


Figure 5 : Indice d'agrégation du paysage. Source : Jappiot, Phillibert-Caillat et al. (2003)

Indice de surface de cœur

Cette mesure permet d'**extraire l'effet lisière** d'un patch. La lisière ou écotone est une zone de transition entre deux milieux où l'influence du milieu voisin se fait ressentir. L'influence des écotones peut être aussi bien positive que négative et varie en fonction des espèces. D'un point de vue floristique, il a été montré que l'impact de l'altération des conditions micro-climatiques par l'effet lisière peut impacter une forêt sur plusieurs centaines de mètres vers le centre du patch (Munzinger, Kurpisz et al. 2008). À l'inverse, la présence d'écotones est un élément important pour la caractérisation de l'habitat préférentiel de la perruche à front rouge (Theuerkauf, comm. pers.).

L'indice CORE du logiciel Fragstat permet de considérer la surface de cœur d'un habitat donné. Pour chaque classe d'habitat, on détermine une distance correspondant à l'influence de la lisière. Une zone tampon est alors soustraite à tous les polygones de la classe (Elkie, Rempel et al. 1999).

On considère que pour une même surface, il est préférable d'avoir un patch dont la surface de cœur est grande (surface contiguë, ronde) qu'un patch très étroit dans lequel l'indice CORE sera faible.

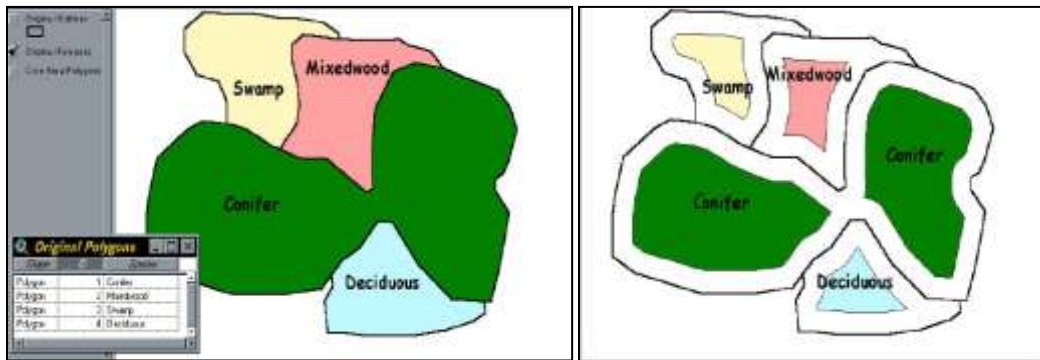


Figure 6 : Indice de surface de cœur. Source : Elkie et al (2009)

Indice de taille effective

Dans cette approche, la connectivité est assimilée à l'absence de barrières physiques, considérées comme le facteur principal de fragmentation du paysage. Il s'agit d'un modèle binaire matrice favorable - matrice défavorable par opposition au modèle patch-matrice-corridors. Cet indice considère **la fragmentation résultant d'éléments linéaires** (infrastructures de transport, hydrographie), de l'urbanisation et éventuellement d'autres barrières physiques naturelles comme les principales causes de la perte de connectivité. Une étude botanique dans le sud de Nouvelle-Calédonie semble conforter cette hypothèse en notant que les pistes forestières et de prospection étaient à l'origine de phénomènes de fragmentation au sein de certaines forêts (Munzinger, Kurpisz et al. 2008).

Un des outils identifiés est l'indice de taille effective de tache ou *Effective Mesh Size* (Jaeger, Bertiller et al. 2008). Il calcule la probabilité que deux points positionnés aléatoirement soit connectés, c'est à dire, non séparés par des barrières. Il intègre des seuils de perméabilité arbitraires, par exemple en fonction du nombre de véhicules, la largeur de la barrière...

Cet outil cible principalement la fragmentation par les barrières de nature linéaire (le plus souvent d'origine anthropique). Il ne permet pas de prendre en compte les lisières biotiques.

Cette méthode est utilisée en Allemagne, en Italie et suisse. Elle a été reprise par le Cemagref pour réaliser une cartographie des espaces naturels terrestres non fragmentés à l'échelle nationale (Deshaye 2007).

2. Connectivité fonctionnelle

Mesures basées sur la probabilité de déplacement d'un patch à l'autre

La connectivité mesurée sur la base des mouvements des organismes est estimée par la probabilité moyenne de déplacement d'un patch à l'autre également appelé **émigration ou succès de dispersion**. On calcule la probabilité de transition inter-patch ou inter-cellule.

Il est également possible de prendre en compte les changements de phase de cycle de vie (ou état) des individus au cours de leurs déplacements entre les patches. On utilise alors la méthode de capture-marquage-recapture en multi-états. (Nichols and Kendall 1995). Cela permet d'estimer à la fois la migration entre les patches mais également le taux de survie ou le succès de reproduction.

Les principales erreurs liées à ce type de modèles spatialement explicites sont liées à une mauvaise classification des habitats favorables et des mauvaises estimations de la distance de dispersion et des taux de mortalité (Ruckelshaus, Hartway et al. 1997). Ces auteurs suggèrent que des modèles moins détaillés pourraient améliorer la compatibilité entre la complexité du modèle et la qualité des données disponible.

Mesures basées sur le temps passé à la recherche d'un habitat favorable

L'indicateur est la mesure du temps de recherche moyen d'un patch d'habitats par des individus placés aléatoirement dans la matrice. Le calcul ne prend en compte que le temps de recherche des déplacements réussis (Tischendorf and Fahrig 2000).

Mesures basés sur la ré-observation d'individus déplacés

La translocation d'animaux permet d'étudier expérimentalement la perméabilité de la matrice (Castellón and Sieving 2006). Les individus sont relâchés dans des patches de taille inférieure au domaine vital des individus et situés à distance importante de la zone de capture. On analyse les paramètres de déplacement en fonction des caractéristiques du paysage.

Mesures basées sur les taux d'immigration

Le succès de dispersion correspond au nombre d'évènements d'immigration sur le nombre initial d'individus. Plus le taux d'immigration est bas plus le patch est isolé (Tischendorf and Fahrig 2000). En étudiant la distance et le succès de dispersion d'une espèce de sauterelle dans un paysage hautement fragmenté, Hjermand et Ims (1996) confirment l'hypothèse que la connectivité diminue fortement avec l'isolement des patches.

Selon Kindlmann et Burel (2008), les facteurs à considérer pour déterminer le taux d'immigration sont :

- 1) la quantité d'habitat environnant inoccupé ;
- 2) le nombre d'individus quittant l'habitat environnant ;
- 3) la nature de la matrice ;
- 4) les capacités de déplacement et de perception de l'organisme ;
- 5) le taux de mortalité des individus dispersants.

Mesures basées sur la perméabilité de la matrice

Cette catégorie d'outils se base sur l'hypothèse que la capacité et le comportement de déplacement des espèces dépend de la résistance que leur offre la matrice paysagère.

Berthoud *et al.* (2004) ont proposé une méthode de calcul de la **distance fonctionnelle ou distance-coût**. Cette méthode modélise la capacité d'espèces à diffuser sur un territoire, en associant ce déplacement à un « coût de friction anisotropique » (dont les propriétés varient en fonction des directions). La carte des habitats est transformée en grille raster et on affecte à chaque cellule un coefficient de rugosité correspondant au type d'habitat majoritairement représenté dans le pixel et caractéristique de la difficulté de déplacement d'un animal dans cet habitat donné.

Dans le cadre du réseau écologique nationale suisse, les coefficients de résistance aux déplacements de la faune sont attribués non pas pour une espèce mais pour une **guilde-clé** considérée comme **caractéristique d'un continuum écologique** (ou sous-trame pour reprendre la terminologie de la Trame verte et bleue française). On entend par guilde-clé un groupe d'espèces écologiquement voisines qui occupent un même habitat et qui sont choisies pour leurs valeurs bioindicatrice ou emblématique. On considère qu'elles résument globalement les besoins de connectivité d'un réseau écologique (Berthoud, Lebeau et al. 2004).

Ces coefficients de rugosité sont déterminés empiriquement pour des zones test largement étudiées et dans lesquelles les déplacements fauniques ont été étudiés. Malgré une donnée abondante l'expérience suisse a retenu seulement quatre niveaux de résistance pour l'ensemble des habitats soit :

- 0 pour un milieu structurant ou une zone réservoir de faune ;
- 5 pour un milieu attractif ;
- 30 pour un milieu peu fréquenté ;
- 100 pour un milieu répulsif : milieu a priori inaccessible.

3. Synthèse des différentes mesures de connectivité

Cette revue des publications scientifiques relatives à l'évaluation de la connectivité fait apparaître une grande variété de mesures impliquant différentes disciplines, modèles et niveaux d'intégrations. Il est important de souligner que la nature des données disponibles ou à produire conditionne l'échelle, la précision et le type de connectivités que l'on mettra en évidence. Le tableau ci-dessous présente une synthèse des mesures identifiées.

Tableau 2 : Synthèse des différentes mesures de connectivité présentées dans cette synthèse. Celles qui sont proposées pour test en Nouvelle-Calédonie sont écrites en caractères gras. Elles ont été choisies en fonction (i) des connaissances disponibles et/ou rapidement mobilisables, et (ii) de leur cohérence avec la démarche proposée. Lorsque cela été possible, ces outils ont été testés à titre exploratoire pour évaluer leur pertinence (cf. chapitre Démarche proposée).

	Catégories	Outils
Composante structurelle	1. Mesures moyennes des corridors entre fragments	Mesures longueur, largeur, présence / absence
	2. Mesures de distances moyennes entre les patchs et leurs voisins (distances euclidiennes)	Distance au voisin le plus proche Tous les patchs accessibles au sein d'une zone tampon Technique de dilatation-érosion Distance associée à des informations sur la biologie des espèces et des populations (<i>Ecologically Scaled Landscape Indices</i> et <i>Incidence Function Model</i>)
	3. Mesures basées sur la théorie des graphes	Chemin(s) de moindre(s) coût(s)
	4. Mesures basées sur l'abondance d'un habitat dans le paysage (à l'intérieur d'une zone tampon)	Eléments linéaire Anneau statistique
	5. Mesures de contagion et de percolation	Analyse de proximité (contagion) Calcul d'un effet de seuil (percolation)
	6. Mesures de la forme des patchs	Ratio périmètre / surface, degré de contiguïté, calcul de surface de cœur , indice de taille effective
Composante fonctionnelle	1. Mesures basées sur la probabilité de déplacement d'un patch à l'autre	Probabilité de transition inter-patch ou inter-cellule
	2. Mesures basées sur le temps passé à la recherche d'un habitat favorable	Temps de recherche moyen d'un patch d'habitats d'individus placés aléatoirement dans la matrice.
	3. Mesures basées sur la ré-observation d'individus déplacés	Translocation d'individus hors de leur habitat et étude de leur dispersion.
	4. Mesures basées sur les taux d'immigration	Nombre d'évènements d'immigration / nombre initial d'individus
	5. Mesures basées sur la perméabilité de la matrice	Distance fonctionnelle

III. Recueil d'expériences sur l'identification de connectivités écologiques

La connectivité écologique, en plus d'un domaine de recherche actif, est également une préoccupation opérationnelle qui se retrouve dans l'élaboration de politiques de conservation ou d'aménagement du territoire notamment sous les intitulés de Trames vertes et bleues, de réseau écologique ou encore de corridors.

Ce chapitre présente quelques initiatives, mises en œuvre dans différentes régions du monde, dont l'exemple pourrait nourrir la réflexion sur l'identification et la mise en œuvre de corridors dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie.

1. Expériences internationales

Bref historique

En 1971, l'UNESCO, au travers du programme *Man and Biosphere*, met en place un nouveau système d'aires protégées, les réserves de Biosphère. Leur originalité réside dans la désignation de trois zones répondant chacune à des objectifs distincts : zone centrale, zone tampon et zone de transition. L'objectif affiché est de réconcilier la conservation de la diversité biologique avec son utilisation durable. Cette approche initie une gestion des processus écologiques en dehors des limites des « sanctuaires » que constituait les aires protégées traditionnelles, ce que Rodary et Milian (Rodary and Milian 2008) appellent la tendance de diversification des aires protégées en opposition à la tendance d'extension (i.e. augmentation de leur superficie). En termes de connectivité, cela revient à prendre en compte la perméabilité entre les différentes composantes de la réserve.

La Convention sur la diversité biologique signée à Rio en 1992 reconnaît pour la première fois la nécessité d'intégrer les espaces protégés dans un réseau mondial. Cette convention met en place un groupe de travail sur les aires protégées dont l'une des missions est de contribuer au développement d'outils pour la mise en place de réseaux écologiques, de corridors écologiques et de zones tampons.

Cette dynamique internationale a permis d'initier plus de 200 programmes d'établissement de réseaux écologiques ou de corridors, 26 couloirs de migrations d'oiseaux, 188 complexes transfrontaliers et 482 réserves de biosphère (Bennett and Mulongoy 2006).

Europe

Les pays d'Europe centrale et orientale sont les pionniers mondiaux en matière de réseaux écologiques. La première initiative est attribuée au Réseau d'aires de compensation écologique en Estonie au début des années 1980, avant d'être rapidement suivi par la Lituanie, la Tchécoslovaquie et la Pologne.

Ces programmes s'inspirent de la théorie de l'éco-stabilisation des paysages développée par le géographe russe Boris Rodoman (Jongman and Kristiansen 1998) qui propose d'équilibrer l'impact des zones dédiées aux activités humaines par une délimitation des zones de nature

(intégrant les zones de restauration et les zones de récréation). Les réseaux écologiques d'Europe occidentale adoptent une démarche orientée en priorité sur la conservation de la biodiversité. D'une manière générale, les projets sont menés par les gouvernements nationaux et travaillent sur la base des limites administratives. On observe cependant un nombre croissant de projets transfrontaliers et une volonté d'intégration de la part de l'Union Européenne via le réseau de sites Natura 2000.

A l'échelle continentale, le Réseau écologique Paneuropéen est l'objectif majeur de la stratégie européenne en faveur de la diversité biologique et paysagère. Cette stratégie concerne 54 pays soit la totalité du continent européen, plus certains pays d'Asie septentrionale et centrale. L'objectif n'est pas de définir un cadre pour orienter les décisions de conservation ou d'aménagement du territoire mais de favoriser la réflexion sur la connectivité et d'encourager la coopération interrégionale et les échanges entre la recherche et les décideurs.

Deux types de cartographies ont été produits :

- Deux cartes indicatives du Réseau écologique Paneuropéen pour l'Europe centrale et occidentale ainsi que pour le sud-est de l'Europe. Elles identifient les cœurs de nature par grandes catégories d'habitats, les corridors existants et les corridors à restaurer pour assurer la connectivité d'espèces clés (Birò, Bouwma et al. 2006).
- Des cartes d'évaluation de l'écopotentialité des territoires européens se basant sur l'état de l'intégrité écologique à grande échelle des territoires. Elles utilisent un indice (NELP - *Net Landscape Ecological Potential*) qui intègre des données sur l'évolution de l'occupation du sol, l'évolution de la probabilité de présence d'une biodiversité importante pondérées par un indice de densité du réseau de transport considéré comme une estimation de la fragmentation paysagère.

Encadré 2 : Le Réseau Écologique National Suisse (Berthoud, Lebeau et al. 2004)

Le Réseau Écologique National (REN) Suisse est la représentation cartographique d'une stratégie dynamique d'évolution des paysages. Il désigne à la fois les zones prioritaires pour la conservation de la faune et de la flore ainsi que les principales structures permettant l'interconnexion de ces zones. Cet outil permet d'identifier les lacunes dans les réseaux biotiques existant et doit constituer un guide incitatif en matière de planification. L'aboutissement de ce travail mené entre 1999 et 2004 est un ensemble de cartes d'échelle moyenne et une base de données harmonisée de l'ensemble des informations utiles au projet REN.

La méthode développée, dite Econat, a été largement reprise dans le cadre de l'identification en France de trames vertes et bleues (cf. le chapitre sur les expériences métropolitaines).

La principale originalité de la démarche est la désignation de cinq continuums organisés en réseaux spécifiques et dont la superposition forme le réseau général (voir figure 7). Par continuum, on entend un ensemble de milieux favorables à un groupe écologique et composé de plusieurs éléments continus (sans interruption physique) comprenant :

- une ou plusieurs **zones nodales** ;
- des **zones d'extension** de moindre qualité que les zones nodales mais correspondant au même type générique de milieu ;
- des **marges complémentaires** partiellement ou temporairement utilisées par la faune caractéristique du continuum, mais d'un autre type de milieu. Elles servent notamment de corridor pour de nombreuses espèces généralistes, mais également pour quelques espèces spécialisées, au cours de leur phase de dispersion.

Pour chaque continuum, on calcule son extension potentielle pour une (ou un groupe caractéristique d') espèce(s). On utilise la méthode de la distance fonctionnelle c'est-à-dire le coût de déplacement maximal qu'un animal est capable de réaliser pour se déplacer (cf. le chapitre sur les mesures basées sur la perméabilité de la matrice).

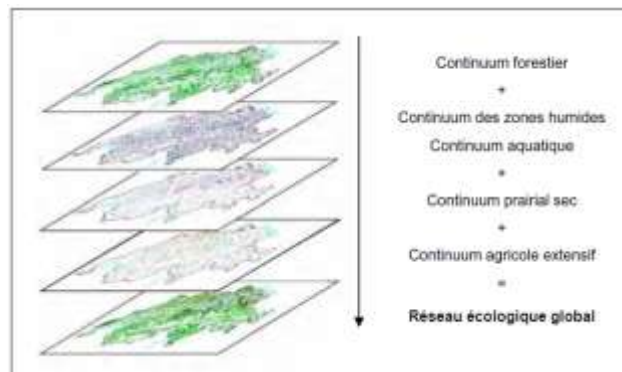


Figure 7 : Les cinq continuums constitutifs du Réseau écologique national Suisse (Berthoud, Lebeau et al. 2004)

Amérique du Nord et Australie

Ces deux régions sont assez similaires dans leur approche de l'identification de corridors écologiques. Tout d'abord, elles s'appuient sur la présence de grandes étendus d'espaces « sauvages » (*wildlands*) qui constituent un enjeu prioritaire en termes de connectivité. Cette configuration géographique permet d'initier des programmes sur des échelles continentales comme le *Yellowstone to Yukon Conservation Initiative* ou le réseau *WildCountry* en Australie. Des espèces clés de voute, comme les grands carnivores, peuvent représenter de bonnes cibles pour définir ce type de corridors.

À l'image de l'Europe de l'ouest, c'est la conservation de la biodiversité qui est au cœur de la réflexion sur les réseaux écologiques.

Concernant la gestion, on remarque que les principaux programmes sont initiés et animés par des ONG en interaction avec un très large réseau d'acteurs.

L'Australie s'est distinguée pour avoir constitué et protégé de manière pérenne le premier corridor climatique pancontinental. L'objectif d'une telle initiative est de permettre aux espèces de disposer de refuges en cas de déplacements contraints et aux futurs changements climatiques.

Asie et Pacifique

Les premières initiatives sur les corridors dans la région ont vu le jour au Japon et en Corée du Sud au milieu des années 1990, en s'inspirant des approches occidentales.

Dans le reste de la zone, malgré des conditions socio-économique ou politiques parfois complexes, de nombreux projets d'identification de réseaux écologiques sont engagés. Certaines espèces parapluies emblématiques comme l'éléphant, le panda ou le tigre ont permis d'amorcer plusieurs projets de corridors. Les grandes ONG internationales se sont beaucoup impliquées pour le maintien et la restauration des connectivités écologiques dans la région, en particulier WWF via le programme des éco-régions et Conservation International (cf. encadré 4).

Encadré 3 : La connectivité des écosystèmes aquatiques en milieu tropical insulaire montagneux, l'exemple de Fidji

Une étude réalisée par Wetlands International à Fidji (Jenkins, Jupiter et al. 2010) a permis de mettre en évidence les facteurs influençant l'état et la connectivité des écosystèmes aquatiques. Ce travail a également abouti à la mise en place d'un SIG permettant d'identifier des **zones prioritaires pour la conservation où la connectivité entre bassins versants, réseaux hydrologiques et récifs coralliens était intacte**. L'unité cartographique d'analyse correspond aux zones coutumières de pêche. Chaque unité est notée en fonction de :

- l'érosion potentielle relative (précipitations et vulnérabilité des sols);
- la densité de routes et le nombre d'intersections par rivière ;
- la présence ou l'absence d'espèces exotiques envahissantes ;
- la couverture forestière ;
- la superficie et la diversité de la mangrove ;
- la superficie et la diversité du récif corallien.

En conclusion, les auteurs insistent sur la **nécessité de maintenir une connectivité entre les forêts, les rivières, les estuaires et les rivières** pour assurer la préservation d'espèces de poissons réalisant des migrations amont-aval.

Amérique latine

La réflexion sur la sauvegarde de la Panthère de Floride a permis d'initier en 1998 le premier corridor d'Amérique latine, le couloir biologique méso-américain, qui traverse toute l'Amérique centrale. Douze ans plus tard, on constate que chaque pays d'Amérique latine dispose d'au moins un projet de corridor en cours sur son territoire.

En Amérique du Sud, un travail d'inventaire a mis en évidence 82 projets en cours, menés par des gouvernements ou des ONG (Cracco and Guerrero 2004). Ces auteurs proposent quatre grandes catégories : les corridors biologiques (*Bremen–Barbas* en Colombie), les corridors écologiques (*Llanganates–Sangay* en Équateur), les corridors de conservation (*Central da Mata Atlántica* au Brésil) et les corridors de développement durable (*Madidi– Pilon* en Bolivie).

Ce continuum reflète également une évolution conceptuelle de la notion de corridors. Fort du constat que l'efficacité d'un tel projet grandissait avec l'implication d'une grande variété d'acteurs, on est passé d'une approche centrée sur la biodiversité à une intégration plus importante des besoins sociaux et des impératifs économiques (Cracco and Guerrero 2004). La plupart des nouveaux projets font dorénavant explicitement référence à des objectifs plus larges (géographiquement et thématiquement) de développement durable et utilisent l'approche de la planification de l'utilisation du sol (*land-use planing*). Cette dernière, bien adaptée aux échelles importantes concernées par ces projets, permet en outre de consolider l'implication parfois limitée des institutions.

Malgré une couverture géographique importante, la plupart des projets n'ont pas atteint la phase de mise en œuvre et rencontrent de nombreuses difficultés liées entre autres à la maîtrise foncière, aux exploitations illégales...

Afrique

L'enjeu du maintien de processus écologiques à l'échelle du paysage est connu en Afrique depuis l'époque de la colonisation. Elle est liée à la question délicate des déplacements des grands mammifères dont la gestion est historiquement cynégétique. Le corridor *Kibale Forest Game* établi en 1926 en Ouganda est certainement l'une des premières initiatives du genre sur la planète. Pour autant, une mauvaise gestion et une perception locale très négative – du fait d'un manque d'implication locale – lui ont fait perdre toute sa fonctionnalité. Une évaluation réalisée en 1991 a montré qu'il ne jouait plus son rôle de maintien de la connectivité nécessaire aux grands mammifères et en particulier l'éléphant.

Les projets de corridors comme la création de réserves sont très souvent sources de conflits dans la mesure où ils proposent, souvent avec un déficit de concertation, la modification de l'usage des terres. Ce contexte très délicat associé à un manque chronique de moyen pour la conservation permet d'expliquer le nombre relativement restreint de corridors et réseaux écologiques sur le continent africain ainsi que les difficultés de leur mise en œuvre. Ces difficultés n'ont pas empêché les acteurs de la conservation de lancer de vastes projets de réseaux écologiques comme le Tridom entre le Cameroun, le Gabon et le Congo ou le *Kavango-Zambezi Transfrontier Conservation Area* entre l'Angola, le Botswana, la Namibie, la Zambie et le Zimbabwe.

Encadré 4 : Les corridors de conservation, l'approche CI de la connectivité à l'échelle paysagère

Le corridor de conservation (cf. figure 1) est l'unité de gestion la plus large adoptée par CI dans sa stratégie d'intervention. Celle-ci s'appuie sur trois échelles complémentaires : les espèces, les sites et les paysages. Les espèces prioritaires sont sélectionnées sur la base de leur caractère vulnérable et irremplaçable. A l'échelle des sites, la méthode des KBA (*Key Biodiversity Area*) permet d'identifier des zones abritant des populations significatives d'espèces menacées, à répartition restreinte ou grégaires. Les corridors de conservation correspondent à l'échelle paysagère et prennent en compte les aires protégées, la connectivité et un usage des ressources compatible avec la biodiversité.

La démarche d'identification des corridors de conservation :

- Définition des priorités de conservation :

- analyse basée sur des critères biologiques et de menaces
- concertation avec les experts et démarche participative avec les acteurs. Dans certains cas, il a été possible d'identifier des corridors dès cette étape.

- *Analyse contextuelle des facteurs* influençant l'état de la biodiversité : socio-culturels, économiques, institutionnels, politiques et géographiques. L'objectif est de déterminer où et quand intervenir en termes de coûts- bénéfices et d'opportunités.

- *Délimitation des contours.* Cette étape est un processus itératif qui permet des ajustements au fil de l'amélioration des connaissances biologiques et socio-économiques. Les contours doivent représenter un compromis entre une surface suffisamment importante pour être pertinente au regard des objectifs de conservation et de développement tout en restant dans des dimensions raisonnables en terme de gestion. Il n'y a pas de contraintes de formes ou d'arrangement spatial contrairement aux corridors biologiques qui sont généralement des structures allongées reliant des réservoirs de biodiversité. Avec ses partenaires, Conservation International est responsable de la mise en œuvre de corridors en Indonésie (Nord Sumatra et Papua), à Madagascar (Ankeniheny-Zahamena et Mantadia), au Venezuela et en Colombie (NorAndean), au Brésil (Cerrado-Pantanal et Amapa), en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Milne Bay), au Pérou et en Bolivie (Vilcabamba–Amboró) et en Afrique du Sud (Cederberg). On notera aussi la mise en œuvre de corridors marins tels que *Bird's Head* en Indonésie et le sanctuaire des îles Phoenix.

2. Expériences métropolitaines

La trame verte et bleue métropolitaine est l'outil majeur d'aménagement du territoire pour la restauration des connectivités écologiques. Il est issu de la Stratégie nationale de biodiversité et trouve une existence légale dans la proposition de loi Grenelle II.

Sous une approche commune, la Trame verte et bleue (TVB) recouvre en réalité différentes appellations et échelles d'intervention (liste non-exhaustive) :

- Échelle nationale : le Réseau écologique national est la synthèse et la mise en cohérence des différents réseaux écologiques en cours ;
- Échelle d'un massif : la Trame écologique du massif central regroupe 10 Parcs naturels régionaux ;
- Échelle régionale : TVB du Nord Pas-de-Calais, Trame verte de la région Alsace, cartographie des continuités écologiques terrestres de Franche-Comté, cartographie des réseaux écologiques de Rhône-Alpes et de Picardie, schéma régional du patrimoine naturel de la région Bretagne, schéma régional des corridors biologiques en région Ile-de-France ;
- Échelle départementale : réseau écologique du département de l'Isère ;
- Échelle des Parcs naturels régionaux (Parc Oise Pays de France, Caps et Marais d'Opale...) ;
- Échelle intercommunale : TVB de la Communauté d'agglomérations du Douaisis, corridors écologiques du schéma directeur de la région Grenobloise et de Nantes Métropole, continuités écologiques du Syndicat d'agglomérations Nouvelle de Sénart et du schéma directeur de la région Ile-de-France, schéma de cohérence territorial de Strasbourg, Sud-Loire, Saint-Étienne, Châteauroux...

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, un comité opérationnel « Trame verte et bleue » (COMOP TVB) a été mis en place. Il a permis de définir des orientations stratégiques et un cadre méthodologique commun (COMOP TVB 2009).

Si les principes d'identification et de mise en œuvre sont communs à tous les projets, l'opérateur dispose d'une certaine souplesse dans l'organisation de la démarche et dans le choix des outils à mobiliser. La méthodologie présentée est une synthèse des recommandations du COMOP TVB ainsi que d'autres documents méthodologiques régionaux.

La méthodologie de la Trame Verte et Bleue

Identification des réservoirs biodiversité

Sur la base des données naturalistes existantes, de dispositifs permanents d'inventaires, de suivi et d'évaluation de la biodiversité ainsi que de la consultation d'experts et de gestionnaires, on identifie trois grands types de réservoirs de biodiversité :

- Les zonages existants ou les espaces faisant déjà l'objet d'un intérêt qu'il soit scientifique (Zones naturelles d'intérêt faunistique et floristique, Zones importantes pour la conservation des oiseaux...) soit réglementaire (aires protégées) ;
- espaces riches en espèces ou habitats déterminants pour l'identification des TVB et publiées comme telles par les Directions régionales de l'environnement ;
- espaces dont l'habitat est considéré comme de bonne qualité (analyse de perméabilité ou analyse multicritères intégrant la qualité, la capacité et la fonctionnalité des milieux).

Choix des espèces déterminantes-TV B

Chaque région établit une liste d'espèces déterminantes-TV B parmi les groupes suivants : mammifères, oiseaux, reptiles/amphibiens, entomofaune, poissons et plantes vasculaires. Les critères de sélection sont :

- Rareté et vulnérabilité (liste rouge) ;
- Espèces d'intérêt national ;
- Espèces pour lesquelles la mise en œuvre de la TVB est jugée pertinente ;
- Populations isolées de l'aire de répartition principale.

Affectation de chaque réservoir de biodiversité aux sous-trames qui lui correspondent

Choix des sous-trames

On part du principe qu'à un type de milieu correspond une sous-trame et que l'ensemble de ces sous-trames constitue la trame verte et bleue (voir figure 8). On définit les sous-trames en fonction :

- des caractéristiques et enjeux du territoire à prendre en compte dans la trame verte et bleue ;
- de l'échelle du rendu cartographique. La sous-trame doit être pertinente pour une cartographie à l'échelle choisie ;
- des données disponibles. En effet, une sous-trame jugée importante d'un point de vue écologique mais dont la connaissance est jugée insuffisante sera préférentiellement rattachée à la sous-trame considérée comme la sous-trame écologiquement la plus proche.

Le nombre de sous-trames peut varier, selon les cas, de quatre à une dizaine. Le COMOP TVB recommande d'en définir au moins cinq :

- la sous-trame des milieux forestiers ;
- la sous-trame des milieux ouverts humides (prairies humides, marais, tourbières...) ;
- la sous-trame des milieux ouverts xériques (dunes, maquis, pelouses calcaires...) ;

- la sous-trame des milieux de grandes cultures (si présence suffisante d'espèces déterminantes–TVB inféodées à ces milieux) ;
- la sous-trame des milieux aquatiques.

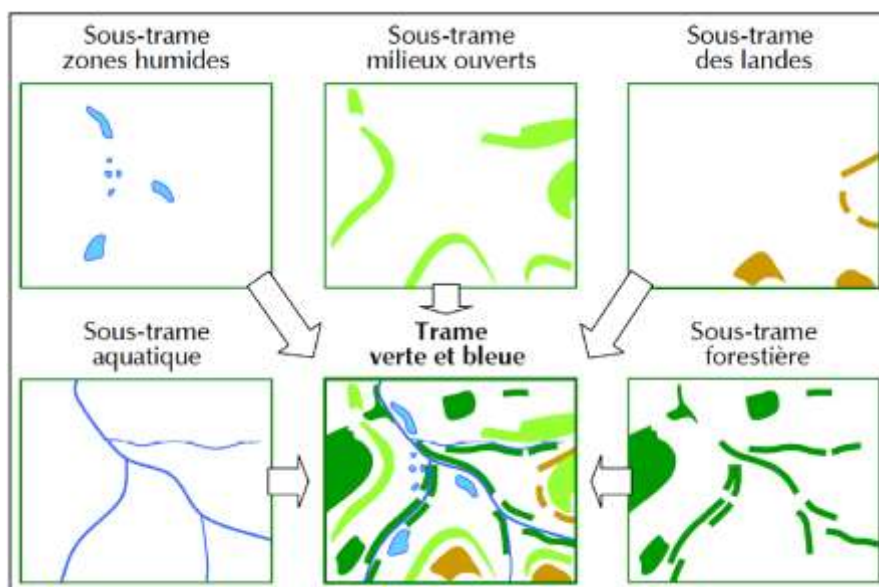


Figure 8 : Exemple de TVB composée de sous-trames écologiques spécifiques. Source : COMOP TVB 2009

Affectation de chaque réservoir de biodiversité aux sous-trames

Cette étape consiste à identifier pour chaque réservoir de biodiversité le(s) milieu(x) qui le compose(nt) et à affecter ce réservoir de biodiversité au(x) sous-trame(s) qui lui correspond(ent).

Établissement des corridors

L'identification des corridors comporte trois phases. Dans un premier temps, on analyse les continuités écologiques. Puis on les confronte aux éléments de fragmentation du paysage. Enfin, on vérifie les résultats obtenus sur le terrain ou auprès d'experts (voir figure 9).

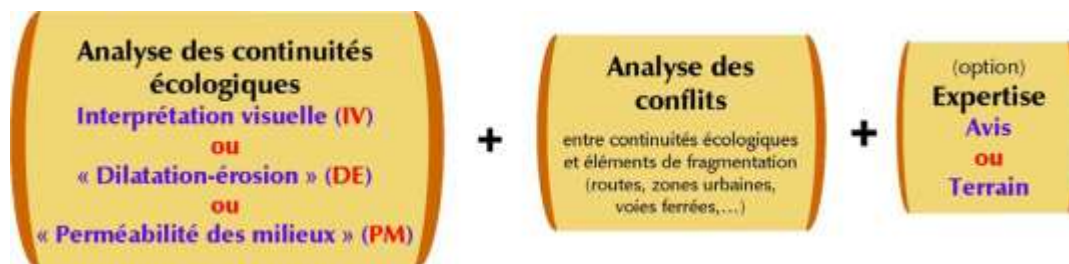


Figure 9 : Représentation schématique des trois phases d'identification des corridors. Source : COMOP TVB 2009

Analyse des continuités écologiques

Différentes méthodes sont proposées pour identifier les continuités :

- **L'interprétation visuelle.** On identifie les connections paysagères par photo-interprétation à partir de photographies aériennes ou des cartes d'occupation du sol. Les tracés sont choisis selon le chemin le plus direct séparant deux espaces naturels discontinus, en modulant le tracé en fonction de l'occupation du sol ;
- **L'analyse de la perméabilité des milieux.** La méthode proposée est le calcul de la distance fonctionnelle pour chacune des sous-trames (Berthoud, Lebeau et al. 2004) (cf. chapitre sur les mesures basées sur la perméabilité de la matrice) ;
- **Dilatation-érosion.** Cette méthode permet d'identifier les connections potentielles entre des patchs d'habitats favorables (cf. chapitre sur les mesures de distances entre les patchs) ;
- **L'analyse des distances entre les réservoirs de biodiversité,** cette méthode correspond au calcul de la distance euclidienne séparant deux patchs (cf. chapitre sur les mesures de distances entre les patchs).

Analyse des conflits

On cherche dans un premier temps à **analyser les éléments de fragmentation** qui correspondent soit à des discontinuités naturelles (larges cours d'eau, montagnes, falaises...) soit à des discontinuités d'origine anthropique (urbanisation, infrastructures linéaires de transport...).

La confrontation des corridors écologiques potentiels aux éléments de fragmentation permet d'identifier des ruptures de continuité et de localiser « les zones de conflit ».

Encadré 5 : Comparaison cartographique de deux méthodes d'identification des corridors du Parc naturel régional du Pilat

Dans le cadre de la réflexion menée par le PNR du Pilat, une étude-test a été menée afin de comparer deux méthodes d'estimation de la connectivité du paysage (Thyriot 2007) : la méthode de distance fonctionnelle, dite méthode Econat et la technique de dilatation-érosion, dite méthode CRENAM (cf. chapitres sur les mesures de la continuité écologique). À des fins de comparaison les deux méthodes ont utilisé la même cartographie des habitats établie par le Conservatoire botanique national du massif central et les mêmes espèces cibles considérées comme caractéristique des sous-trames.

Les résultats montrent qu'en termes de connectivité, la dilatation-érosion révèle un paysage moins connecté que la méthode ECONAT. La dilatation-érosion a l'avantage d'intégrer moins de paramètres que la méthode ECONAT, elle est donc plus accessible et moins sujette aux cumuls d'erreurs mais elle est plus éloignée de la réalité écologique des espèces. La méthode ECONAT, en revanche, s'est révélée plus pertinente pour appréhender les déplacements potentiels et de voir les contournements potentiels des obstacles. En effet, elle permet de modéliser les barrières (routes, canaux...) et les facteurs limitant (fortes pentes)

Dans les deux cas, les limites de ces méthodes restent le choix des espèces cibles, la caractérisation des mouvements (distances, direction, mode...) et le paramétrage des coefficients de résistance.

Enfin, une phase de vérification de terrain est nécessaire afin de visualiser la pertinence des résultats cartographiques et ainsi faciliter le choix de la méthode la plus proche de la réalité.

3. Réflexions sur la connectivité en Nouvelle-Calédonie

En Nouvelle-Calédonie, les premières réflexions sur la connectivité remontent au début des années 2000.

Le programme de conservation des forêts sèches

Ce programme qui compte dix partenaires (www.foretseche.nc) est à l'origine de la réflexion la plus aboutie en matière d'intégration des questions de connectivité à une stratégie de conservation.

Grand Nouméa

Une étude (Matthews 2005) pilotée par le WWF et la Direction des technologies et sciences de l'information du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (ex-SMAI) a d'abord identifié les principales unités paysagères forêt sèche (continuum de forêt sèche) de la Grande Terre (n = 4) avant de travailler plus en détails sur celle du Grand Nouméa. Par une double approche qualitative (caractérisation de l'unité paysagère ainsi que de son potentiel et de ses contraintes, en particulier les menaces) et quantitative (indice de cœur, distance fonctionnelle...) l'auteure a identifié empiriquement plusieurs corridors et proposé une stratégie d'actions pour leur préservation et surtout leur restauration.

Pindai-Nékoro

La seconde unité paysagère qui a profité de l'attention du Programme de conservation des forêts sèches est la zone de Pindai-Nékoro. Il s'agit du plus vaste ensemble de forêts sèches de la province Nord. Il est situé sur fonciers public et privé sous contrat et est bien connu car il a bénéficié d'une attention particulière de la part de la communauté scientifique.

À ce jour seule la première phase de l'étude a été achevée (Chauvin 2008). Elle consistait à mieux comprendre la dynamique de cet écosystème par une analyse diachronique des patchs forestiers entre 1943, 1954 et 1976 ainsi qu'à synthétiser un certain nombre de données disponibles identifiées sur la zone. La fin de l'étude, réalisée par Aquaterra, est prévue pour la fin 2010, en conséquence il paraît difficile de créer un lien entre ces deux études.

Le Grand Sud

Cette région de Nouvelle-Calédonie qui abrite une biodiversité exceptionnelle abrite un petit nombre d'aires protégées et accueille le développement de plusieurs projets miniers d'envergure mondiale. Dès lors plusieurs études scientifiques relatives à la connaissance et la gestion de cet environnement naturel exceptionnel y ont été menées (voir chapitres suivants). Plusieurs d'entre elles ont directement abordé les questions de connectivité. Dans le cadre de ses propositions de gestion pour les réserves du Cap N'Dua, de Forêt Nord et du Pic du Grand Kaori, Bonneton (2003) propose d'une part l'extension de ces réserves mais aussi leur mise en relation – sans toutefois en préciser les modalités. Ensuite, dans le cadre des études d'impacts du projet industriel, et en particulier son impact sur l'avifaune, Desmoulins et Barré (2004) ont identifié selon la méthode de dilatation (cf. chapitre sur la mesure de distances entre les patchs) un corridor forestier supportant la faune avienne. Il constitue à ce jour et la seule, initiative

méthodologiquement justifiée menée dans cette région. Il est également intéressant de noter que Vale NC souhaite entreprendre, avec le probable soutien scientifique de l'IAC (collaboration actuellement en discussion), la reconnexion expérimentale de 5 ou 6 patchs de forêt résiduelle situés dans la vallée de la Kwé Nord.

Enfin, dans le cadre de la **convention pour la conservation de la biodiversité** (CCB), la province Sud et Vale NC se sont engagés à entreprendre la **restauration des continuités** comme « contribution au développement d'un réseau d'aires terrestres protégées dans le Grand Sud » (annexes 8.1 et 8.3 de la CCB).

Autres initiatives

Plusieurs études présentant un lien avec la notion de connectivité ont récemment été conduites ou sont en cours d'élaboration en Nouvelle-Calédonie.

Sur les questions de dispersion zoochorique on notera sans prétendre à l'exhaustivité les études de Barré et de Garine-Wichatitsky et al. (2003), Boissenin, Gomez et al. (2006), de Tassin, Barré et al. (2008), de Colombo (2008) ainsi que tout le travail effectué sur l'écologie de la perruche à front rouge et de la perruche de la chaîne par core.nc (Theuerkauf comm. pers.). Adrien Wulff effectue à l'IAC une thèse sur la biologie et l'écologie de deux espèces de *Scaevola* et deux espèces de *Xanthostemon* et compare leurs modes de dispersion barochore et zoochore.

Par rapport à des problématiques de revégétalisation d'anciennes mines notamment via l'utilisation de populations *starters* (petites populations restaurées et capables via des échanges reproductifs de dynamiser leur croissance, d'améliorer leur diversité génétique et de favoriser leur reconnexion entre elles), un travail de génétique conséquent est effectué sur plusieurs espèces de maquis minier afin de déterminer leurs distances de dispersion (Maggia comm. pers.).

Enfin, dans un contexte de recherche plus fondamentale Sadlier et ses collaborateurs étudient la distance génétique séparant plusieurs populations de reptiles afin de déterminer si elles échangent du matériel génétique entre elles et si oui dans quelle mesure. Ils travaillent notamment sur *Bavayia septuiclavis* ou *Eurydactylodes symmetricus*, espèces qui se maintiennent en petites populations dans des habitats favorables (forêts humides et maquis para-forestiers) mais très fragmentés et sur différentes espèces de *Rhacodactylus spp.* aux répartitions restreintes. Des résultats récents montrent que la répartition, éclatée sur six patchs, de *Bavayia gietiana* ne se traduit pas par une variation génétique des sous-populations importantes (Ross Sadlier comm. pers.). Ce type de projets de recherche devrait faciliter un paramétrage précis et juste des outils de mesure et de cartographie des connectivités écologiques.

IV. Synthèse des connaissances disponibles et *a priori* utiles à la définition des enjeux liés à la connectivité écologique

1. Synthèse des connaissances sur les milieux naturels

La cartographie des milieux naturels de la province Sud

La cartographie des milieux naturels en province Sud (Boyeau 2005; Maillard 2010) est la **première synthèse des données disponibles sur le patrimoine naturel à une échelle provinciale**. Les données utilisées proviennent d'origines diverses, la fiabilité et la précision spatiale de l'information disponible est très variable selon les localités considérées. Cette cartographie représente le principal outil de référence des différents services de la province Sud concernant la répartition géographique des milieux naturels.

La méthodologie adoptée consiste à considérer, pour chaque grande catégorie de milieux (forêt, maquis, mangrove, récifs...), la donnée la plus fiable disponible. Lorsqu'aucune donnée issue d'un inventaire n'est disponible, on utilise la couche d'occupation du sol réalisé par la DTSI, en 2008, à partir des images du satellite SPOT 5. Il s'agit d'une information modélisée et qui n'est donc pas parfaitement exacte (taux de validation : 75,5 %). On remarque toutefois que cette couche, utilisée pour la mise à jour en 2010, apporte une amélioration significative par rapport à la carte initiale de 2005. En effet, les informations sont plus homogènes et plus fiables que celles utilisés en 2005 (BD TOPO de la DITTT et SPOT 3).

Voici les différentes couches d'information utilisées pour la cartographie de 2010 avec, entre parenthèse, l'origine de la donnée :

- Mangroves (Zonéco) ;
- Rivières et bassins versants (DAVAR) ;
- Cartographie des formations forestières (CTFT) ;
- Infrastructures et végétation (uniquement « plantation » pour la mise à jour 2010) (BDTOPO DITTT) ;
- Forêt sèches (Programme de conservation des forêts sèches) ;
- Zones humides d'eau douce (ÉTEC) ;
- Maquis base altitude du Grand Sud (IRD) ;
- Récifs et herbiers (IRD, atlas géomorphologique des récifs) ;
- Occupation du sol (SPOT 5 DTSI) ;
- Modèle numérique de terrain (DITTT) ;
- Cartographie de la végétation des réserves naturelles (IRD).

Dans le cadre de l'identification et la cartographie des continuités écologiques, **cette cartographie servira de base aux analyses spatiales**. Ce choix est motivé par les raisons suivantes :

- **Couverture homogène** de l'ensemble de la province Sud ;
- Bonne **intégrité topologique** (nous avons toutefois relevé une centaine d'erreurs topologiques, ce qui reste très faible au regard des 41 000 polygones de la zone d'étude) ;
- Utilisation de **la donnée la plus fiable** en donnant la priorité aux données issues d'études spécifiques plutôt qu'aux données résultant de modèles ;
- **Typologie harmonisée** (malgré un important nombre de classes conséquence d'un grand nombre de sources et de ce fait difficilement exploitable) ;
- **Évolutive** (mise à jour 2010 par Maillard).

Autres cartographies de milieux naturels

D'autres cartographies des habitats ont été établies à l'échelle du secteur d'étude. Elles ne seront cependant pas utilisées car à l'inverse de la cartographie des milieux naturels, elles ne sont harmonisées ni sur le plan typologique ni sur le plan topologique.

Les autres cartographies identifiées sur la zone d'étude sont :

- Les réserves spéciales botanique Pic du grand Kaori, Forêt Nord et Cap N'dua (Bonneton 2003) ;
- Les forêts denses humides sempervirentes de la province Sud (éTEC 2006) ;
- La Réserve naturelle intégrale de la Montagne des sources (IRD 2008) ;
- Le bassin versant de La Coulée (AIME 2008) ;
- Les bois du Sud (SIRAS Pacifique 2010) ;
- Les Réserves naturelles de la province Sud (IRD en cours) ;
- Les groupements de végétaux de certaines zones du projet Goro Nickel (IRD entre 2000 et 2007).

Les photographies aériennes

L'analyse diachronique de photos aériennes anciennes peut permettre d'identifier les dynamiques qui ont conduit au paysage actuel. Cette compréhension historique de l'évolution du paysage peut aider le gestionnaire à maximiser les chances de succès de ses opérations de maintien et de restauration des connectivités écologiques. Il pourra ainsi choisir d'agir sur les zones où les écosystèmes se régénèrent seuls ou au contraire là où ils sont en régression. Ou encore considérant qu'il est préférable, du point de vu de la connectivité structurelle, de restaurer des continuités dégradées que de chercher à en recréer (Gilbert-Norton, Wilson et al. 2010), il pourra là encore choisir les sites et la nature de ses interventions. Enfin on peut imaginer que sur la base des dynamiques constatées on puisse initier des réflexions prospectives afin de comprendre les conséquences du maintien d'une situation de *statu quo*.

En Nouvelle-Calédonie, deux études ont réalisées une analyse diachronique de photographies aériennes anciennes afin d’appréhender l’évolution des paysages :

- pour le Grand Sud, une **analyse paysagère de trois réserves spéciales botaniques du Grand Sud** (Pic du Grand Kaori, Forêt Nord et Cap N’dua) a été réalisée sur la base de photographies datant de 1954, 1992 et 2001 puis comparée à des relevés de terrain (Bonneton 2003). Aucune évolution notable des grands types d’évolution des sols n’a pu être constatée par ce travail, en particulier en ce qui concerne les sols nus ou les lisières forestières. Ces résultats seraient principalement à imputer aux difficultés de recolonisation des zones dénudées ;
- sur le secteur de Pindaï-Nekoro, une **analyse diachronique des formations végétales sclérophylles** entre 1943, 1954 et 1976 a été menée par le Programme de conservation de la forêt sèche (Chauvin 2008). Cette étude a permis de mettre en évidence l’évolution de la forêt sèche en termes de surface mais également de qualité (densité et degré d’ouverture). D’une manière générale, une dégradation croissante de ces milieux a été constatée mais localement des petites zones de régénération ont pu être identifiées.

La compréhension de ces dynamiques n’est toutefois pas une tâche aisée et dans tous les cas chronophage. Nous avons donc cherché à en évaluer la complexité afin d’en estimer la pertinence. Une recherche a permis d’identifier les photographies aériennes disponibles qui couvrent le périmètre de notre travail. Les résultats de cette recherche sur les photos transmises par la DITTT (au format PDF) sont présentés par année de prise de vu et par échelle (tableau 3). Les plus anciennes photographies datent de 1954.

Tableau 3 : Liste des photographies aériennes disponibles sur la zone d’étude par année et par échelle (source : DITTT)

	1 : 8 000	1 : 20 000	1 : 40 000
1954			√
1971	√	√	
1976	√	√	
1982	√	√	√
1985			√
1991		√	
1992		√	
1997		√	
1999-2000		√	
2003-2004		√	
2007		√	

Les conclusions de la consultation de sites spécialisés (www.forumsig.org et www.georezo.net) et celles de discussions avec des professionnels de la télédétection suggèrent qu’il est recommandé, avant d’interpréter ces photos d’un point de vu de l’évolution paysagère, d’effectuer les étapes suivantes :

- **géoréférencement** des images. Cette étape nécessite de déterminer pour chaque photo 5 à 10 points de calage correspondant à des éléments remarquables du paysage. Chaque point est ensuite repéré soit sur une carte topographique, soit sur une autre photographie aérienne déjà géoréférencée ou encore directement sur le terrain à l'aide d'un GPS ;
- **orthorectification** ou **redressement**. Ces opérations permettent de corriger les déformations de la photographie liées aux effets du relief, à la projection de l'axe optique et à la projection centrale de la photographie (par opposition à la projection orthogonale d'une carte). L'orthorectification est une correction à partir des paramètres de prise de vue, de points de calage connus en XYZ et de la géométrie du terrain (modèle numérique de terrain). Pour le Grand Sud, les rapports de prise de vue ne sont disponibles qu'à partir de 1992. En l'absence de ces informations, il est possible d'effectuer un redressement uniquement sur la base des points de calage avec des résultats moins précis mais jugés suffisants pour comparer des évolutions d'occupation du sol.

Notons qu'aucune des deux études précédemment citée n'a effectuée d'orthorectification ni de redressement. Pour la zone Pindaï-Nekoro, cela n'a pas été jugé nécessaire en raison de l'absence de relief. Dans l'étude de Bonneton, les différentes zones de végétation visibles ont été digitalisées à l'écran en vérifiant leur adéquation avec les courbes de niveau et à l'aide d'un stéréoscope. Dans les zones où le relief est accidenté, cette méthode est assez peu précise. Enfin, Chauvin (2008) souligne que les photos antérieures à 1976 sont de qualités inégales et que cela entraîne des difficultés de diagnostic pour certaines zones.

En conclusion, évaluer la dynamique des paysages du Grand Sud par une analyse diachronique de photographies aériennes anciennes nous semble être une option trop coûteuse, en termes de temps et de moyens, pour être recommandée sur l'ensemble de la zone d'étude. **Nous proposons donc de limiter cette approche à des zones préalablement identifiées** comme potentiellement prioritaires pour le maintien des connectivités et pour lesquelles une analyse historique permettrait d'affiner le diagnostic. Cette limitation à des zones à forts enjeux est également plus compatible avec des vérifications de terrain qui sont fortement recommandées dans le cadre de ces analyses.

Pour mémoire, l'Observatoire de l'environnement (l'OEIL) a en projet la caractérisation de modes d'occupation du sol - MOS (i.e. un inventaire informatisé de tous les types d'occupation du sol) sur la base d'images satellites et d'orthophotographies pour la période 1998 à 2010. Il devrait être possible d'identifier les changements significatifs d'occupation du sol (*changes detection*) sur cet intervalle de temps. Ces informations pourraient également être prises en compte dans le cadre de l'identification des continuités écologiques.

2. Synthèse des connaissances sur les espèces

Flore

La flore du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie est inégalement documentée selon les habitats considérés. Si les maquis miniers ont fait l'objet de nombreuses publications (Jaffré 1980; Morat, Jaffré et al. 1986; Jaffré, Morat et al. 1987; Jaffré, Morat et al. 2001; Jaffré, Dagostini et al. 2003), la structure et la composition des forêts denses humides du Grand Sud étaient jusqu'à récemment assez mal connues (éTec 2006). Ces lacunes ont été partiellement comblées grâce à un important travail d'inventaire commandé par la province Sud sur les aires protégées (SIRAS Pacifique 2010; Barrabé, Rigault et al. en cours) ainsi que sur les lambeaux forestiers (Munzinger, Kurpisz et al. 2008).

Par ailleurs, nous avons recensés six études menés par l'IRD entre 2000 et 2007 dans le cadre des études d'impact du projet Goro nickel (Jaffré 2000; Jaffré, Dagostini et al. 2004; Munzinger, Dagostini et al. 2004; Munzinger, Dagostini et al. 2005; Munzinger, Dagostini et al. 2007; Munzinger, Dagostini et al. 2007).

Une publication récente rappelle que **les forêts denses humides de basses et moyennes altitudes sur substrat ultramafique sont les milieux abritant la plus grande diversité et la plus grande richesse spécifique du territoire** (Jaffré, Munzinger et al. 2010). Les deux principales menaces pesant sur ces habitats sont :

- **l'isolement géographique** des espèces dont la répartition ou les populations sont restreintes. Ce phénomène est considéré comme un frein puissant aux flux de gènes indispensables à la pérennité à long terme de ces espèces (Munzinger, Kurpisz et al. 2008). Des travaux de recherches en biologie moléculaire, ont permis de valider scientifiquement ces hypothèses pour *Araucaria nemorosa* (Kettle, Hollingsworth et al. 2007; Kettle, Ennos et al. 2008). Ils ont mis en évidence des signes d'appauvrissement génétique, à savoir la perte d'allèles rares et des phénomènes de consanguinité chez les jeunes individus. Ceux-ci seraient à imputer à la fragmentation des populations conséquence des incendies et des activités minières. Cela pourrait entraîner des dépressions de consanguinité et des dérives génétiques pouvant entraîner l'extinction de cette espèce restreinte à quelques localités dans la région de Port Boisé ;
- **la fragmentation des lambeaux forestiers et la secondarisation des peuplements.** L'analyse des compositions floristiques par strates forestières fait apparaître que les canopées sont essentiellement composées d'essences secondaires et qu'il n'y a quasiment pas de recrutement d'espèces forestières strictes. De plus, la forte densité de pistes et de sentiers forestiers amène à penser que certaines forêts sont en réalité un ensemble de fragments isolés. Cette fragmentation serait due à une altération des conditions micro-climatiques appelée effet lisière. Dans certaines conditions, cet effet peut se faire sentir sur plus d'une centaine de mètres.

Faune

Avifaune

L'avifaune du Grand Sud de Nouvelle-Calédonie est relativement bien connue. Les études menées par l'IAC (Desmoulins and Barré 2004; Chartendrault and Barré 2006), la SCO (Barré, Desmoulins et al. 2005) et la province Sud (Suprin, Agourou et al. 1997; Mériot and Letocart 2003) ont permis une assez bonne couverture de la zone d'étude.

On remarque que l'extrême sud de la grande terre ne comporte pas zone importante pour la conservation des oiseaux (Spaggiari, Chartendrault et al. 2006). Le nord de la zone d'étude (voir IV.2 Principales étapes de la démarche) englobe une partie de la ZICO « massifs du Grand Sud » au niveau du Parc provincial de la rivière Bleue. Celle-ci correspond à la limite sud de l'aire de répartition du Cagou, une espèce considérée comme un bon modèle pour l'identification de continuités écologiques (voir encadré 6).

Encadré 6 : Des corridors pour la sauvegarde du Cagou

Le Cagou, *Rhynochetos jubatus*, est le seul représentant d'une famille endémique à la Nouvelle-Calédonie. L'Union mondiale pour la nature le considère comme une espèce en danger critique d'extinction (CR).

Le plan d'action pour la sauvegarde du Cagou ou PASC (Rouys, Chartendrault et al. 2009) identifie comme objectif prioritaire **le maintien ou la restauration d'une connectivité fonctionnelle favorable au Cagou**. Considérant son inaptitude au vol, l'attention portée à sa conservation et sa relative dépendance aux milieux forestiers, le Cagou peut être un bon modèle pour identifier des continuités écologiques.



Bien que le travail d'identification des corridors Cagou n'ait pas été à ce jour amorcé, deux approches ont été proposées :

- identification d'une trame paysagère potentiellement favorable sur la base de cartographies existantes (occupation du sol, cartographie des milieux naturels, BD TOPO...). Le PASC souhaite s'inspirer du travail en cours sur les continuités écologiques dans le Grand Sud ;
- cartographie de son habitat favorable basée sur des relevés de terrain évaluant la présence d'une litière suffisante, la présence de prédateurs ou de compétiteurs (chiens, rats, fourmis électriques...), la densité du couvert herbacé...

Il est envisagé de poursuivre ces deux approches de manière complémentaire. La première permettrait d'identifier des zones potentielles qui seraient ensuite vérifiées et cartographiées plus finement sur le terrain.

Ce travail nécessite toutefois de mieux connaître les distances de dispersion du Cagou qui sont fortement liées à la densité d'individus et à la disponibilité de la ressource alimentaire. Des études génétiques en cours pourront également permettre de comprendre les liens entre les différentes sous-populations.

Pour les autres espèces, les données manquent pour évaluer les enjeux en termes de connectivité. Il semble toutefois que dans les zones impactées par les feux et les activités minières **l'isolement des populations et la destruction de l'habitat seraient les principales menaces pour l'avifaune forestière** (Desmoulins and Barré 2004). À l'heure actuelle, le Carpophage géant ou notou est la seule espèce pour laquelle on dispose d'informations concernant la capacité de dispersion et les aires minimales occupées (voir encadré 7).

Encadré 7 : Le Carpophage géant ou notou, une espèce frugivore clé de voute



Le plus gros pigeon arboricole au monde, *Duculia goliath* ou Carpophage géant, joue un rôle clé dans la dissémination des graines de plus de quarante espèces dont il se nourrit (Barré, de Garine-Wichatitsky et al. 2003). Pour de nombreuses espèces, il représente même le seul disséminateur grâce à certaines de ses particularités anatomiques : son ouverture buccale extensible lui permet d'ingérer des fruits mesurant jusqu'à 5 cm de longueur et son gésier est adapté à traiter des fruits durs.

Une étude sur les traits reproductifs de 123 essences forestières néo-calédoniennes a permis de conclure que 16 % des arbres ont des fruits de plus de 2 cm de diamètre et par conséquent seul le notou serait en mesure de les disséminer (Carpenter, Read et al. 2003).

Par ailleurs, le notou est l'un des rares vertébrés à avoir fait l'objet d'un suivi par radio-pistage sur la zone d'étude (Letocart 1998). Trente individus équipés d'un émetteur ont été suivis de 6 à 42 mois. L'objectif de l'étude était de suivre les comportements des oiseaux au sein du Parc provincial de la rivière bleue mais elle a également permis d'obtenir des données hors du parc. Les principaux résultats obtenus pour vingt-quatre individus sont :

- 75% des individus ont effectués des déplacements saisonniers (distants de plus d'un kilomètre de la zone de capture) ;
- quatre individus ont été observés à l'extérieur du parc entre 11 et 14 km de leur zone de capture ;
- les oiseaux reproducteurs évoluent dans une zone mesurant de 30 à 500 m de diamètre (n = 3 couples) ;
- les déplacements alimentaires moyens sont de 400 m.

Enfin, une étude sur la distribution du notou dans le sud de la grande terre (Villard, Barré et al. 2003) fait apparaître que celui-ci pourrait se maintenir dans des lambeaux forestiers de tailles réduites. Cette caractéristique associée à une bonne capacité de dispersion le rendrait moins sensible à la fragmentation que d'autres espèces d'oiseaux. Pour autant, étant donné son rôle clé dans la dynamique forestière, les connaissances disponibles et son caractère patrimonial nous le proposons comme espèce-cible pour l'identification des continuités écologiques.

Herpétofaune

L'herpétofaune calédonienne fait l'objet de nombreuses études et publications en particulier, un livre qui synthétise ces informations (Bauer and Sadlier 2000). À l'occasion d'un atelier sur la révision des statuts UICN organisé en février 2010 par les provinces Nord et Sud ainsi que Conservation International, un travail de synthèse et de mise à jour a permis de compiler les points connus des espèces de lézard et de cartographier à dire d'experts leurs distributions.

À l'échelle de la province Sud un inventaire de l'herpétofaune des aires protégées provinciales est en cours (Sadlier and Shea 2006; Sadlier and Jourdan 2010). Enfin, dans le cadre du projet Goro Nickel, les lézards ont fait l'objet d'une étude d'impact (Sadlier and Shea 2004) et continuent d'être suivis par des experts indépendants et en régie par les techniciens de Vale NC.

Ces différents travaux ont permis de souligner **l'importance patrimoniale particulière des peuplements herpétologiques du sud de la grande terre sur substrats ultramafiques** ; douze des trente-cinq espèces de scinques et deux des vingt-cinq espèces de geckos de Nouvelle-Calédonie y sont inféodées (Sadlier and Jourdan 2010). Il est possible pour cette région de définir deux classes de lézards définies en fonction de leurs habitats :

- **Les espèces de forêt denses humides et de maquis para-forestiers.** Ces habitats concentrent la plus grande richesse spécifique. Certaines espèces montrent une nette préférence pour les forêts denses humides comme *Rhacodactylus sarasinorum* ou *Graciliscincus shonae*. D'autres espèces comme *Bavayia septuiclavus* ou *Sigaloseps deplanchei* se rencontrent indifféremment dans les forêts ou dans les maquis para-forestiers, à condition d'y trouver une couche de litière, la présence de chablis et de blocs rocheux.
- **Les espèces de maquis minier.** Ces milieux hébergent une herpétofaune peu diversifiée et composée d'espèces à large spectre écologique sauf *Lioscincus tillieri* qui y semble inféodé. On peut noter également la présence de *Lacertoides pardalis*, endémique du plateau de Goro, dont l'habitat correspond à un maquis arbustif associé à des affleurements de blocs de péridotites.

Pour de nombreuses espèces de reptiles, **la fragmentation des habitats et l'isolement des sous-populations sont des enjeux majeurs en termes de conservation** (Bauer and Sadlier 2000). Leur répartition et leur capacité de mouvement est également sujette à la présence de compétiteurs exogènes au premier rang desquels la fourmi électrique, *Wasmannia auropunctata*. Il a été montré que cette espèce exotique envahissante était à l'origine d'une baisse significative de la richesse et de la diversité spécifique des peuplements herpétologiques (Jourdan, Sadlier et al. 2001). On peut considérer que pour les lézards une zone infestée par *Wasmannia auropunctata* représente certainement une rupture de continuité.

Les lézards de la grande terre ont évolué par vicariance. L'isolement de populations sur de longues périodes de temps a entraîné des phénomènes de spéciation à l'origine des micro-endémismes observables aujourd'hui (Smith, Sadlier et al. 2007). Des études de phylogénie

moléculaire actuellement en cours devraient permettre de mieux appréhender les distances génétiques séparant les différentes populations et pourraient, à terme, orienter les choix en termes de restauration de continuités écologiques (Ross Sadlier, comm. pers.).

Au regard de leurs particularités génétiques, de leurs enjeux de conservation et de leur sensibilité à la qualité de l'habitat, les lézards peuvent représenter de bons modèles pour l'étude des connectivités écologiques.

Chiroptères

Les mégachiroptères ou roussettes sont d'importants disséminateurs de graines mais également de pollens. Il est très probable qu'en Nouvelle-Calédonie à l'image de nombreux systèmes insulaires du Pacifique, certaines espèces de plantes de forêt humide soient exclusivement dépendantes des chauves-souris pour leur reproduction (Brescia 2007).

Dans le Grand Sud, on connaît mal la distribution des sites de reproduction des roussettes. Une étude menée par l'IAC devrait permettre dans les mois à venir de mieux connaître la distribution des colonies dans les aires protégées de la province Sud.

Un suivi expérimental de roussettes équipées de balises satellitaires miniatures (de type Argos) a été mené à Gohapin sur quatre individus de *Pteropus ornatus* (Brescia données non-publiées). Certains de ces individus ont été contactés à plus de 50 km de la zone de capture. Ce type de suivis dans le Grand Sud pourrait fournir des informations très intéressantes sur l'utilisation du paysage par les roussettes dans un contexte où leurs habitats préférentiels sont vraisemblablement fragmentés. Ce type de suivi implique un coût important lié à l'acquisition des balises (250 000XFP par appareil) puis à la récupération des données.

La connaissance de la distribution et des habitats des microchiroptères est plus lacunaire que celle concernant les roussettes. En contexte continental, certaines espèces sont inféodées à des formations paysagères et sont par conséquent de très bons modèles pour caractériser les continuités écologiques. Aucun élément ne permet d'indiquer si c'est le cas en Nouvelle-Calédonie. Le faible nombre d'espèce, caractéristique des contextes insulaires, est généralement associé à un faible degré de spécialisation. Pour autant, l'étude des microchiroptères par analyse des fréquences (batbox) pourrait permettre de mieux comprendre l'utilisation des différents habitats par les chauves-souris.

Malacofaune

La malacofaune de Nouvelle-Calédonie comprend plusieurs espèces endémiques à grande valeur patrimoniale (*Placostylus spp.*). Une étude menée par l'IAC doit prochainement apporter des précisions sur les peuplements et l'abondance des bulimes dans les aires protégées de la province Sud.

Le suivi en forêt sèche d'individus relâchés a permis de mettre en évidence des déplacements moyens d'environ 16 m avec un maximum de 45 m. En forêt humide il avait été montré que les bulimes sauvages parcourent des distances de l'ordre de 1,5 m par nuit (Brescia 1997).

Etant donné les faibles distances de dispersion, les bulimes n'apparaissent pas comme de bons modèles pour l'évaluation de la connectivité à l'échelle du Grand Sud.

Ichtyofaune

Le travail d'inventaire le plus exhaustif relatif à l'ichtyofaune néo-calédonienne a été réalisé entre 1997 et 2002 lors des missions CHLOE. Il a été compilé dans l'atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de Nouvelle-Calédonie (Marquet, Keith et al. 2003). À l'échelle du Grand Sud, plusieurs rivières font l'objet de suivis réguliers dans le cadre du projet Goro Nickel (Pöllabauer, Bargier et al. 2005; Pöllabauer 2007). Le reste du secteur d'étude n'a pas fait, à notre connaissance, l'objet d'inventaires récents.

Comme pour d'autres groupes faunistiques et floristiques, de nombreuses espèces de poissons sont inféodées aux substrats ultramafiques (*Protogobius attiti*, *Schismatogobius fuligimentus*, *Sicyopterus sarasini*, *Galaxias neocaledonicus*).

La connectivité des milieux aquatiques est un enjeu important car la majorité des espèces du territoire est amphidrome et doit effectuer deux migrations pour assurer le succès de son cycle biologique. Par ailleurs, près des trois quarts des espèces sont cantonnées aux cours inférieurs des rivières en raison de certaines contraintes écologiques (courant, rareté de la nourriture). D'autres espèces comme les anguilles (*Anguilla marmorata*) ou certains gobiidae (*Sicyopterus spp.*) circulent à la fois dans les cours inférieurs et supérieurs et peuvent donc être de bons indicateurs des continuités aquatiques sur l'ensemble d'un cours d'eau.

Bien que ce sujet soit peu étudié en Nouvelle-Calédonie, on peut penser que toute modification physique ou chimique de leur habitat peut avoir des répercussions sur leur cycle migratoire (Pöllabauer, Bargier et al. 2005). Une étude sur la connectivité des écosystèmes aquatiques basée sur les peuplements piscicoles à Fidji (Jenkins, Jupiter et al. 2010) a montré que **la présence d'espèces envahissantes représentait la principale « barrière » aux migrations** des poissons. Elle souligne que, dans une moindre mesure, certains ouvrages de franchissements peuvent également constituer une rupture de continuité. Dans le contexte du Grand Sud calédonien, certains ouvrages mis en place dans le cadre du projet Goro Nickel comme les seuils en V sont également de nature à stopper les migrations de poissons (Claude Lascombe, comm. Pers.).

Invertébrés aquatiques

Le travail de référence sur les écosystèmes d'eau douce de Nouvelle-Calédonie est la synthèse bibliographique réalisée dans le cadre de l'analyse éco-régionale WWF-CI (Flouhr, Mary et al. 2006).

Par ailleurs, deux indices utilisés en Nouvelle-Calédonie pour évaluer l'état écologique des masses d'eau se basent sur les macroinvertébrés benthiques :

- l'indice biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) développé par Mary (2000). Cet indice permet de détecter des pollutions organiques en milieu courant. Il est donc moins

adapté pour les cours d'eau sur substrats ultramafiques naturellement pauvres en matières organiques ;

- l'indice bio-sédimentaire (IBS). Cette méthode a été développée pour des rivières qui drainent les surfaces situées dans un environnement géologique à dominante ultrabasique afin de quantifier et de suivre les impacts des activités liées aux exploitations minières anciennes et/ou actuelles. Elle se base principalement sur les macroinvertébrés benthiques en raison de leurs qualités de bio-indicateurs et de leur sensibilité aux pollutions par les sédiments fins.

Ces indicateurs sont essentiellement utilisés pour évaluer soit la qualité de l'eau en zone urbaine soit l'impact des activités minières. Ils ne permettent pas de fournir une image homogène de l'état écologique des masses d'eaux à l'échelle du Grand Sud.

Concernant les zones humides, peu de données existent permettant d'évaluer la qualité des communautés benthiques et leur degré de connectivité. On note toutefois des prospections dans les lacs et les dolines de la région de Goro sans qu'il ait eu d'inventaire exhaustif de la zone (Pöllabauer, Bargier et al. 2005). Ces travaux ont souligné que certaines dolines sont interconnectées d'un point de vue fonctionnel et qu'elles abritent une espèce de conchostracé, *Lynceus sp.*, à haute valeur patrimoniale .

Entomofaune

En Nouvelle-Calédonie, la connaissance de l'immense diversité entomologique est incomplète et hétérogène (géographiquement et taxonomiquement). Récemment la connaissance de l'entomofaune des aires protégées de la province Sud a fait l'objet d'une synthèse bibliographique exhaustive (Baby and Jourdan 2010).

Parmi les différents groupes, les Hyménoptères *formicidae* sont le plus souvent retenus pour les évaluations écologiques et patrimoniales des milieux naturels. En effet, cette famille est reconnue comme indicatrice de la qualité des milieux (Jourdan and Chazeau 1999) et est relativement bien étudiée en Nouvelle-Calédonie (Cuenot, Konghouleux et al. 2008; Baby and Jourdan 2010). Les fourmis ont également un rôle crucial dans la reproduction de certaines familles de plantes comme par exemple les Rubiacés (Mouly 2006).

Concernant la connaissance sur la zone d'étude, un important travail d'inventaire myrmécologique des aires protégées de la province Sud est en cours (Cuenot, Konghouleux et al. 2008; Baby and Jourdan 2010). Il vient compléter le travail de Chazeau, Jourdan et al (2004) sur les sites retenus pour l'installation des infrastructures minières et industrielles du complexe de Goro Nickel.

Ces différentes études soulignent **une richesse spécifique bien supérieure pour les maquis paraforestiers, les formations préforestières et les forêts en comparaison aux maquis ligno-herbacés et arbustifs.**

Enfin, si la connaissance actuelle de la myrmécofaune rend possible l'identification ou la distinction de la plupart des espèces et leur assignation à des groupes fonctionnels, elle est encore insuffisante pour évaluer la connectivité des milieux. Par ailleurs il est probable que ce groupe taxonomique ne soit pas un bon modèle pour l'échelle de travail retenu.

3. Synthèse des connaissances sur les menaces

Les incendies

Les incendies, pour la plupart d'origines anthropiques, représentent **l'une des principales menaces pour les écosystèmes néo-calédoniens** (Munzinger, Kurpysz et al. 2008; Ibanez 2009). Dans le Grand Sud, la fréquence et l'intensité des incendies a modifié durablement les paysages (Richer de Forges and Pascal 2008). Pour le maquis minier, les travaux de McCoy, Jaffré et al. (1999) ont permis à la fois d'illustrer les impacts des feux sur les successions de végétation mais également d'identifier les phases de ces successions où le risque d'incendie est le plus important.

Au cours des dernières décennies, plusieurs aires protégées du Grand Sud ont été touchées par des feux notamment la Montagne des Sources, le Grand kaori, le Pic du Pin et les Chutes de la Madeleine (Baby and Jourdan 2010). L'incendie le plus marquant sur la zone d'étude est celui du bassin versant de La Coulée qui a détruit fin 2005 pas loin de 4 500 hectares. À la suite de cet incident majeur une vaste étude a été initiée en vue d'établir une stratégie de restauration de la zone (AIME 2008).

De son côté, la Sécurité civile consigne dans une base de données tous les départs de feu dont elle a connaissance et depuis 2005 elle les localise selon un carroyage de 2 km sur 2 km inspiré du modèle DFCI (Défense de la forêt contre les incendies) métropolitain. Cette information ne permet cependant pas d'avoir une image exhaustive de la répartition des incendies en raison des nombreux feux qui ne sont pas rapportés.

Pour tenter de combler cette lacune, une analyse spatiale de l'impact des feux a été menée en province Sud (Boyeau 2005). Celle-ci se base sur des images satellites du programme MODIS Fire de la NASA. Elle a permis de cartographier tous les points chauds détectés entre 2000 et 2005. Cette méthode comporte toutefois deux limites importantes. Tout d'abord, la détection implique l'absence de nuages et ensuite elle ne permet pas d'évaluer l'intensité de l'incendie ni son impact (superficie).

Enfin, sur les incendies, on signalera l'existence d'un projet multi-partenarial (IRD, CNRS, CEMAGREF, Météo-France et WWF France) initié en 2008 et financé par l'Agence nationale pour la recherche (ANR) intitulé le projet INC (Incendie et biodiversité des écosystèmes de Nouvelle-Calédonie). Ce projet cherche à analyser les interactions entre écosystèmes, pratiques humaines, climat et incendies. Un de ses objectifs est de pouvoir modéliser le risque incendie en croisant l'aléa (e.g. l'inflammabilité des milieux, les probabilités d'occurrence) avec la vulnérabilité (e.g. zones nodales, continuités écologiques majeures, ressource en eau).

Les espèces exotiques envahissantes (EEE),

Les invasions biologiques par des espèces exotiques envahissantes (EEE) sont considérées comme la deuxième cause d'érosion de la biodiversité à l'échelle mondiale après la destruction et la dégradation des habitats naturels (Soubeyran 2008). D'une manière générale, en contexte insulaire où les écosystèmes sont beaucoup plus sensibles aux invasions biologiques et **en Nouvelle-Calédonie** en particulier, **elles représenteraient même la première cause d'extinction des espèces** (Beauvais, Coléno et al. 2006).

Par ailleurs, considérant qu'il n'est pas possible de gérer simultanément toutes les espèces envahissantes. Il conviendra de se rapprocher du groupe espèces envahissantes afin d'harmoniser les approches.

Les espèces végétales envahissantes

En 2006, une expertise collégiale sur les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien, (Beauvais, Coléno et al. 2006) a permis d'établir le premier diagnostic de ce risque environnemental et économique majeur que représentent les espèces exotique envahissante en Nouvelle-Calédonie. À la suite des recommandations du groupe, l'IRD s'est vu confiée par la Province Nord, la Province Sud et l'État français la réalisation d'une étude visant à actualiser les connaissances sur les espèces végétales introduites et cartographier les 67 espèces considérées comme les plus envahissantes (Hequet, Le Corre et al. 2009). Au final, ce sont plus de 200 espèces qui ont été cartographiées. Sur la zone d'étude (voir IV.2 Principales étapes de la démarche), nous avons comptabilisés 653 localités correspondant à 101 espèces. Malgré l'important travail réalisé, cet inventaire ne peut être considéré comme exhaustif et des études complémentaires devront certainement être organisées.

Le nombre total de taxons introduits s'élève aujourd'hui à 2008 parmi lesquels 97 espèces sont considérées comme présentant un danger majeur pour les écosystèmes néo-calédoniens (Hequet, Le Corre et al. 2009).

D'une manière générale, on peut considérer que **les milieux naturels terrestres du Grand Sud sont globalement moins impactés** que d'autres par les EEE. Avant tout parce que les **maquis miniers**, milieux à la fois pauvres et toxiques, ont constitués «une barrière écologique qui a limité l'installation d'espèces allochtones pantropicales, ailleurs très compétitives et envahissantes » (Jaffré 2003). Notons toutefois que des débuts d'invasions par le pin des Caraïbes *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ainsi que la présence de *Psidium cattleianum* en bas des Chutes de la Madeleine et à Yaté (laboratoire de botanique IRD, comm. pers.), indiquent que certaines espèces, au potentiel envahissant énorme, sont capables de se développer sur sols ultramafiques. De la même manière les **forêts denses humides**, sont actuellement considérées pas ou peu envahies en Nouvelle-Calédonie (Meyer, Loop et al. 2006). Pour autant, certaines espèces de successions secondaires, à croissance rapide et à reproduction précoce (e.g. *Miconia calvenscens*, *Psidium cattleianum*, *Ligustrum spp.*, *Pittosporum undulatum*) sont susceptibles d'envahir des forêts naturelles apparemment intactes ou très faiblement perturbées (Meyer, Loop et al. 2006). À titre d'exemple, une espèce de *Lantana sp.* a été

récemment observée en plein cœur d'un noyau forestier de la Forêt Nord (laboratoire de Botanique IRD, comm. pers.).

Les espèces animales envahissantes

Comme pour les espèces végétales, le travail d'expertise collégiale sur les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien (Beauvais, Coléno et al. 2006) a permis de synthétiser les connaissances disponibles sur ces espèces animales. Pour les vertébrés, Pascal et al (2006) ont identifié que quarante-deux espèces exogènes étaient représentées par des populations pérennes au sein des milieux naturels de la Grande Terre. Parmi elles on compte huit espèces de poissons d'eau douce, une espèce d'amphibien, trois espèces de reptiles, dix-huit espèces d'oiseaux et douze espèces de mammifères.

Concernant la faune terrestre, les différentes références bibliographiques font apparaître que **les EEE sont à la fois plus nombreuses et plus abondantes en forêt dense humide qu'en maquis minier.**

La distribution des mammifères introduits a fait l'objet d'une étude sur six réserves naturelles de la Province Sud (Rouys and Theuerkauf 2003). Les rongeurs (*Rattus rattus* et *Rattus exulans*) et le cochon sauvage (*Sus scrofa*) ont montré une nette préférence pour les forêts denses humides qui parallèlement abrite la plus grande biodiversité. Le cerf rusa *Cervus timorensis rusa* a été plus souvent observé dans les fourrés que dans la forêt. Les chats féraux (*Felis catus*) et les chiens errants (*Canis lupus familiaris*) sont largement distribués dans les réserves. Sur le secteur d'étude, seul le Parc provincial de la rivière bleue, fait l'objet, à notre connaissance, d'une campagne de gestion des mammifères introduits.

Parmi les invertébrés envahissants, les formicidés sont le groupe le mieux étudié et dont les impacts sont le mieux connus (Jourdan, Sadlier et al. 2001; Baby and Jourdan 2010; Sadlier and Jourdan 2010). Il ressort en particulier que la présence de la fourmi électrique, *Wasmannia auropunctata*, a un impact significatif à la fois sur la richesse et la diversité des peuplements herpétologiques et entomologiques. Il serait assez simple de cartographier son habitat potentiel puisqu'il s'agit de tous les milieux forestiers situés à moins de 900 m d'altitude et présentant une litière végétale (Hervé Jourdan, comm. pers.).

Pour les écosystèmes aquatiques, l'introduction d'espèces allochtones, en particulier les huit espèces de poissons, a entraîné des phénomènes de prédation et de compétition vis-à-vis de des espèces autochtones ; ce qui a entraîné une modification de la composition des peuplements dulçaquicoles autochtones (Pöllabauer, Bargier et al. 2005). En termes de connectivité, il a été démontré que la présence de tilapias sur un cours d'eau peut représenter une rupture de continuité pour les espèces migratrices (Jenkins, Jupiter et al. 2010).

L'exploitation minière

A l'échelle mondiale, la destruction des habitats est la première cause de l'érosion de la biodiversité (Diamond 1989). L'exploitation minière et ses conséquences indirectes ont fortement impacté l'environnement naturel en Nouvelle-Calédonie. Malgré l'amélioration

certaines des pratiques industrielles dans ce secteur, cette activité économique importante génère toujours des désordres environnementaux importants et représentent pour certains auteurs une menace de premier ordre pour la biodiversité en Nouvelle-Calédonie (Richer de Forges and Pascal 2008).

Différentes catégories d'atteintes à l'environnement peuvent être identifiées :

- Les **dommages liés à la prospection**. Sur le plan historique la prospection minière était facilitée par des défrichages par le feu (Richer de Forges and Pascal 2008). La prospection minière nécessite toujours, malgré l'utilisation de plus en plus fréquente de moyens hélicoptérés, l'ouverture de pistes qui fragmentent l'écosystème et favorisent les départs de feu d'origine anthropique ;

- Les **surfaces exploitées**. L'activité minière en elle-même génère des dégradations sur des superficies significatives. Un inventaire cartographique par image satellite (SPOT 5) a permis d'identifier 20 000 ha de sols nus dégradés par l'activité minière (Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie 2009). En 2007, pour la seule entreprise Goro-nickel, 1 595 ha de végétation ont été décapés dans le sud de l'île (Lethier 2007). Une estimation réalisée sur la base des concessions d'exploitations et des zones potentiellement perturbées situées au sud de la ligne Yaté - Mont Dore montre que environ 60 000 ha de végétation pourrait être impactée (Lethier, 26 octobre 2007 conférence à l'IRD, Nouméa).

- La **gestion des stériles**. L'exploitation à ciel ouvert consiste à prélever le minerai jusqu'à une profondeur pouvant atteindre 50 mètres. Cela implique l'élimination de la couverture végétale ainsi que l'horizon d'humus (*topsoil*). Les matériaux stériles étaient jusqu'à récemment, et ils le sont encore par endroit, déversés sur les flancs de montagne ou dans les thalwegs impactant la végétation au-delà de la zone exploitée et dans des zones où bien souvent ont subsisté des pans de végétation originelle ;

- L'**érosion**. Les pistes minières et les mines orphelines sont sujettes à d'importants ravinements (AIME 2008). Les modes d'exploitation actuels tentent de limiter au maximum l'érosion par des opérations de terrassement associées à une gestion adaptée des eaux de ruissellement. Des opérations de revégétalisation ont également pour objectif de limiter l'érosion. Cependant avec un objectif de quelques dizaines d'hectares par an, les surfaces revégétalisées ne permettront pas de stopper l'érosion à grande échelle ;

- L'augmentation des **risques d'introduction d'espèces**. L'importation en grande quantité de matériaux d'origine étrangère augmente le risque de d'introduction d'EEE. À titre indicatif, on peut citer les milliers de tonnes de calcaire importées qui vont être nécessaires chaque année au fonctionnement de l'usine du Sud (Richer de Forges and Pascal 2008).

- La **pollution lumineuse et sonore**. L'illumination intense et continue au niveau de l'usine de Goro représente également une perturbation voire une rupture de continuité pour certaines espèces d'oiseaux appartenant à la famille des Procellariidés (Mareschal 2009) et pour les insectes nocturnes.

Il existe aujourd'hui un consensus entre les collectivités publiques, la société civile et les acteurs du secteur minier concernant les dégâts considérables de l'activité minière passée sur

l'environnement de la Nouvelle-Calédonie (Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie 2009). Face à ce constat, différents acteurs publics, privés et citoyens ont explicitement adhéré à l'esprit du développement durable tel que défini au Sommet de la Terre en 1992 et ils reconnaissent l'importante contribution de la biodiversité à ses trois piliers que sont les domaines environnemental, social et économique.

Parmi eux, VALE NC s'est engagé par voie contractuelle et en complément de ses obligations légales à prendre toutes les mesures visant à réduire son empreinte écologique globale et à intégrer la conservation à long terme de la biodiversité dans ses décisions (Convention pour la conservation de la biodiversité - CCB). Ces engagements explicités dans une « démarche pour la conservation de la biodiversité » soulignent par ailleurs la nécessaire restauration des continuités écologiques pour atteindre ces objectifs (annexes 8.1 et 8.3 - CCB).

L'érosion

L'érosion dans le Grand Sud, qu'elle soit liée aux activités minières ou d'origine naturelle, est accentuée par une forte pluviométrie et de fréquents incendies. Une stagiaire de la Direction du développement rural a effectué un travail de cartographie de zones dégradées de la commune du Mont-Dore ainsi que la mise en place d'une méthode de hiérarchisation des opérations de revégétalisation (Marine Espigat, en cours de finalisation). Son travail a mis en évidence que les couches « sols nus » et « végétation éparse » de la cartographie de l'occupation du sol de la DTSI fournissent une représentation assez précise des zones dégradées en comparaison des identifications effectuées sur la base de photographies aériennes et de relevés de terrain.

Pistes et routes

On distingue trois catégories de voies dans le Grand Sud : les axes principaux de communication (routes), les pistes minières (les plus nombreuses) et les pistes forestières.

Les études botaniques conduites dans les forêts du Grand Sud ont montrées l'importante densité de pistes dans certaines d'entre elles ainsi que les impacts négatifs de ces pistes liés à l'effet lisière (Munzinger, Kurpisz et al. 2008).

En maquis miniers, le très grand nombre de pistes est également **une source de fragmentation de l'écosystème et favorise les départs de feux**. Notons que la couche d'information de la DTSI sur le réseau routier ne permet pas de représenter l'ensemble des pistes minières à l'origine de la fragmentation du paysage.

Au niveau des cours d'eau, les ouvrages de franchissement du Grand Sud (en majorité des radiers) ne semblent pas constituer de véritables ruptures de continuités pour la faune aquatique (Christine Pöllabauer et Nathalie Mary, comm. pers.). En revanche, ils facilitent la diffusion dans les cours d'eau de sédiments ou de polluants liés à la circulation des véhicules.

V. Identification des principaux enjeux liés à la mise en œuvre d'un projet de maintien et de restauration des connectivités

Selon Davidson, Lockwood et al. (2006) les projets de conservation centrés sur la connectivité consistent à gérer un système socio-écologique incertain et imparfaitement connu pour lequel il n'existe pas de consensus ni sur le diagnostic ni sur les solutions à envisager ; ce système est également caractérisé par la coexistence d'acteurs divers, aux buts et systèmes de valeurs *a priori* peu compatibles, et régis par des rapports de forces souvent inégaux exercés au sein d'un arrangement institutionnel imparfait. La situation du Grand Sud est dans une certaine mesure comparable à celle constatée par les chercheurs australiens, en conséquence il conviendra de gérer au mieux les considérations écologiques, institutionnelles et financières et sociales inhérentes à un tel projet et détaillées ci-après.

1. Considérations écologiques

Un objectif fort des approches liées au maintien de la connectivité consiste à **favoriser la résilience** des écosystèmes d'intérêt – c'est à dire la quantité de changements ou de perturbations qu'ils peuvent supporter avant d'évoluer vers des systèmes distincts des points de vu structurels et fonctionnels – ainsi que sa **capacité d'adaptation** défini comme la capacité d'un système de répondre rapidement aux effets des changements avérés ou attendus que se soit pour en tirer profit ou en limiter les conséquences (*mitigation*). La capacité d'adaptation du système socio-écologique sera renforcée les actions suivantes :

- la réduction des stress d'origine anthropique, notamment ceux résultant de nouvelles fragmentations,
- la protection efficace d'un ensemble de sites représentatifs de la biodiversité locale, de son niveau d'organisation génétique (protection de plusieurs populations/sites de la même espèce) à son niveau écosystémique,
- la réhabilitation des écosystèmes dégradés,
- l'identification et la gestion de sites refuges capables de se substituer à d'autres sites,
- et l'identification de zones favorable à la migration des espèces incapables de s'adapter.

Mais elle sera également favorisée par un système de gestion souple acceptant l'incertitude liée à la complexité de tels projets et capable de gérer voire de tirer profit de changements incertains (voir paragraphe *considérations institutionnelles* ci-après).

Enfin compte tenu de la contribution de plus en plus reconnue des écosystèmes au bien être humain notamment via la fourniture de biens et de services écosystémiques, il sera pertinent de considérer comment le maintien des connectivités participe au **maintien de la productivité des écosystèmes**.

Dans le Grand Sud comme partout ailleurs en Nouvelle-Calédonie voire sur la planète l'environnement naturel est soumis à des perturbations d'autant plus graves que leurs impacts semblent se potentialiser les uns les autres. De plus, le caractère insulaire de la Nouvelle-

Calédonie la rend encore plus sensible aux changements globaux (changements climatiques, pollutions, invasions biologiques).

Afin de faire face à ces risques nouveaux et en complément des initiatives existantes (e.g. aires protégées, législation, information, répression...) qu'il faudra poursuivre voire intensifier, il semble que favoriser le déplacement des populations qui ne pourront pas s'adapter aux futures modifications de leur habitats reste l'option la plus sûre et rentable (*cost-effective*).

Un des enjeux préalable à la définition d'une stratégie efficace de préservation de la biodiversité exceptionnelle de la Nouvelle-Calédonie réside dans la bonne compréhension de ses caractéristiques ainsi que des phénomènes qui la menacent, au premier rang desquelles la prolifération d'espèces exotiques et la récurrence des incendies. De ce point de vu il semble primordial que l'information disponible soit mutualisée afin de planifier rapidement, et en vertu du principe constitutionnel de précaution, les actions les plus urgentes nécessaires à la conservation de la biodiversité et d'organiser l'acquisition des nouvelles connaissances nécessaires.

Compte tenu de l'ambition de protéger un patrimoine aussi vaste et important mais déjà fragilisé et qui le sera vraisemblablement de plus en plus, avec des moyens limités, un second enjeu consiste à adopter une stratégie rationnelle qui optimisera l'utilisation des ressources disponibles et limitées. L'identification justifiée et collégiale d'objectifs de conservation représentatifs des motifs (*patterns*) de la biodiversité et capables de maintenir sa persistance (maintien des processus écologiques et évolutifs) sera cruciale.

L'ancrage spatial de la biodiversité et son hétérogénéité rendent possible la cartographie de la plupart de ces objectifs de conservation. Il est probable que certains de ces objectifs de conservation seront antagonistes de certains modes d'utilisation des terres ou d'exploitation de certaines ressources naturelles, en particulier le développement minier actuel et futur du Grand Sud. **Cette cartographie est d'autant plus fondamentale qu'elle favorisera une interaction constructive entre les acteurs socio-économiques et facilitera la résolution des conflits d'usages pour l'espace** (Driver, Cowling et al. 2003).

Enfin il sera primordial de dépasser les limites de cette étude, restreinte en première instance aux milieux terrestres et dulçaquicoles, et **d'intégrer pleinement les connexions fonctionnelles qui existent entre ces environnements et les milieux marins**. Dans un second temps et fort des enseignements et succès de ce projet il sera intéressant d'évaluer la transposition de la méthode définie pour le Grand Sud, à l'ensemble de la province, voire de la Grande Terre, la biodiversité s'accommodant souvent mal des limites politiques.

2. Considérations institutionnelles

L'étendue géographique comme thématique des projets de gestion des continuités écologiques conduit à ce qu'un nombre important de partenaires collaborent. Il est important de les identifier le plus en amont possible dans la définition du projet et de bien comprendre leur mode de fonctionnement propre ainsi que la nature de leurs interactions avec les autres. Il sera

ainsi plus facile d'organiser efficacement leurs implications respectives. Cette organisation pourra revêtir **diverses formes en termes de niveau de formalisation ou de pérennité**.

La première phase de ce projet qui vise principalement à identifier une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud est avant tout technique et elle fédère donc principalement des partenaires techniques et scientifiques. Ils sont réunis dans le cadre d'un groupe de travail appelé à se prononcer sur les questions de la gestion de la biodiversité dans le Grand Sud ; lequel groupe est présidé par la province Sud qui possède en outre la légitimité politique de cette action. Les **défis de la gouvernance d'un tel projet** – définie comme l'organisation des structures et des processus procédant à l'exercice du pouvoir et des responsabilités, à la prise de décisions ainsi qu'à l'implication citoyenne (Graham, Amos et al. 2003) – **se poseront donc rapidement après la fin de cette première phase**. Ces défis seront la **légitimité, la transparence, la responsabilité, la participation, l'équité, l'intégration** [au sens philosophique du terme], **la capacité et l'adaptabilité** (Lockwood, Davidson et al. 2010).

En effet, compte tenu de l'étendue géographique il sera nécessaire d'informer voire d'impliquer **les autres collectivités publiques** dont le territoire recoupe la zone d'étude. De même **les populations** habitant sur la zone du projet devront être associées à la réflexion puis à la mise en œuvre des actions sur le terrain (voir paragraphe *considérations sociales* ci-après). En conséquence il faudra renforcer la représentation citoyenne par l'implication d'associations ; à ce jour, seule Conservation International participe au projet et avec un statut particulier de maître d'œuvre. À ce stade une seule entreprise, le groupe industriel VALE NC, est partenaire du projet via la convention qui le lie à la province Sud (voir *introduction*). Toutefois les développements miniers attendus dans cette zone laissent penser que d'autres opérateurs seront bientôt acteurs de l'évolution du Grand Sud et devraient, à ce titre, renforcer la dynamique et les moyens de ce projet. Enfin en fonction des actions qui seront envisagées afin de maintenir ou de restaurer les connectivités d'autres **partenaires privés** seront vraisemblablement associés au projet selon diverses modalités.

Du point de vue de leur fonctionnement, les partenaires de ce projet devront adopter une gouvernance capable d'optimiser la **gestion de la complexité et de l'incertitude du socio-écosystème visé et celle de l'interdépendance des partenaires mais aussi de renforcer la cohérence des intérêts individuels** (variables selon l'échelle et le groupe considérés) **et enfin de potentialiser les ressources, les compétences et la connaissance** (Lockwood, Davidson et al. 2010). Le meilleur choix semble devoir s'inspirer des principes propres à la **gestion adaptative** qui considère les orientations politiques (*policies*) comme des hypothèses qui doivent être testées dans le cadre de leur mise en œuvre et que adaptées en fonction de leurs résultats, dans une perpétuelle logique d'apprentissage (Lockwood 2010).

Pour finir, le groupe de projet devra **choisir dans un vaste ensemble d'outils ceux qu'il considère utiles à la mise en œuvre des projets de maintien et de restauration des continuités écologiques**. On mentionnera entre autre les outils réglementaires (i.e. les interdictions ou autorisations, les obligations – études d'impacts, les normes...), les leviers économiques

(marchés, incitations ou fiscalité), les accords ou conventionnements (de partenariat ou de gestion) ou encore la communication.

3. Considérations sociales et individuelles

Bien sûr derrière chaque organisation partenaire il y a des individus qui contribueront directement au devenir d'un tel projet. Le **capital social** de ces individus – entendu comme la richesse de leur réseau de liens sociaux – va leur permettre d'accéder aux ressources et d'obtenir le soutien dont ils auront besoin mais plus encore, leurs interactions et leurs relations favoriseront l'émergence d'un référentiel commun et le développement d'une confiance réciproque ; deux éléments qui contribuent à la réalisation d'objectifs présentant des bénéfices partagés (Ecclestone and Field 2003). Par ailleurs, leur **capital humain** ou capacité individuelle (e.g. savoirs, savoir-être et savoir-faire) sera également primordiale.

Au-delà de l'importance des caractéristiques individuelles des personnes directement impliquées dans le projet il conviendra de porter une attention particulière aux interactions du projet lui-même avec les individus qu'il concerne. En particulier il conviendra d'apporter une attention particulière à ce que les objectifs du projet deviennent compatibles avec les aspirations des populations qui seront idéalement prises en compte dans le cadre d'un programme plus global de développement durable.

Un autre aspect important à considérer dans le Grand Sud est l'attachement des populations calédoniennes, et particulièrement la population kanak, à certains territoires qui contribuent fortement à leur identité. Cette réalité qui s'exprime imparfaitement dans la conception juridique de la propriété foncière en Nouvelle-Calédonie devra pourtant faire l'objet de toute l'attention d'un tel projet dont l'objectif est l'affectation d'usages spécifiques à différentes zones du paysage en fonction de leur richesse biologiques et de leur potentiel d'utilisation. Bien souvent, la prise en compte du lien qui existe entre un groupe social et un territoire donné facilitera la mise en œuvre d'un projet pensé à l'échelle du paysage. Soit parce que le projet pourra s'appuyer sur la nature de ce lien lorsqu'elle est compatible avec ses objectifs. Soit au contraire parce que les conséquences dommageables de la sous-estimation voire la négation du sens et de la valeur de ces territoires particuliers seront évitées.

4. Considérations financières

La gestion de toutes les considérations présentées dans ce chapitre impliquera des coûts importants liés notamment à de possibles acquisitions foncières, à la mise en œuvre d'incitations économiques soutenant les activités compatibles avec le maintien des connectivités, à la création et au fonctionnement de(s) la structure(s) de gestion nécessaire(s) au projet, au financement de programmes d'information et d'éducation et à ceux des actions de terrain. La capacité financière d'un tel projet conditionnera grandement son issue en particulier comme vecteur du dynamisme et de la cohésion du partenariat. **Le volume, la stabilité et la pérennité de cette autonomie financière** dépendront probablement de la **diversité des sources et des mécanismes de financement ainsi que des contributions en nature.**

Dans le contexte du Grand Sud il conviendra certainement d'envisager des partenariats entre le public et le privé, en particulier les sociétés minières, ainsi que des mécanismes durables de financement (de Longcamp 2006) y compris le paiement de services écosystémiques sous certaines réserves (Pirard, Billé et al. 2010). Dans ce domaine plusieurs ONG internationales présentes en Nouvelle-Calédonie depuis de nombreuses années seront susceptibles de valoriser leur savoir faire.

VI. Démarche proposée pour l'identification et la caractérisation de continuités écologiques en Nouvelle-Calédonie

1. Remarque préliminaire

La présentation de la démarche proposée dans ce rapport résulte d'une importante analyse bibliographique et de nombreux entretiens techniques avec des biologistes et des experts néo-calédoniens et étrangers (voir annexe 2). Cette démarche a été présentée le 27 août 2010 dans les bureaux de Direction de l'environnement de la province Sud aux membres du groupe de travail « corridors Grand Sud » qui l'ont acceptée (voir annexe 1). Une fois identifiées ces continuités auront vocation à être suivies, protégées, voire le cas échéant à être restaurées. La mise en œuvre à une vaste échelle de ce projet est prévue sur deux années (cf. convention pluri-annuelle passée entre la province Sud et CI). Afin d'intégrer au mieux la démarche proposée ci-après dans le projet global un projet de programmation à venir est présenté dans l'annexe 3.

2. Principales étapes de la démarche

1. Identifier la donnée disponible

Le chapitre sur la synthèse des connaissances disponibles présente les données disponibles ou rapidement mobilisables et qui seront utiles à la réflexion sur la connectivité du paysage dans le Grand Sud néo-calédonien.

2. Intégrer la donnée disponible à un SIG et la rendre utilisable

La diversité de la donnée utilisable dans ce type d'exercice est importante. Elle peut être aussi bien cartographique (aux formats vecteur et raster) qu'alphanumérique (tableaux, textes... numérisés ou non). Il conviendra d'uniformiser cette donnée et de la rendre utilisable dans un système d'information géographique (SIG). Des expériences similaires ont révélé que le prétraitement de certaines données mais plus encore leur analyse ultérieure pouvait être particulièrement chronophage. À titre de comparaison l'identification des infrastructures vertes et bleues dans le cadre du schéma de cohérence territoriale Fier-Aravis (soit 13 communes) a nécessité quinze jours de travail cartographique. Il n'est pas rare que certaines étapes d'analyse consomment plusieurs heures de calculs.

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

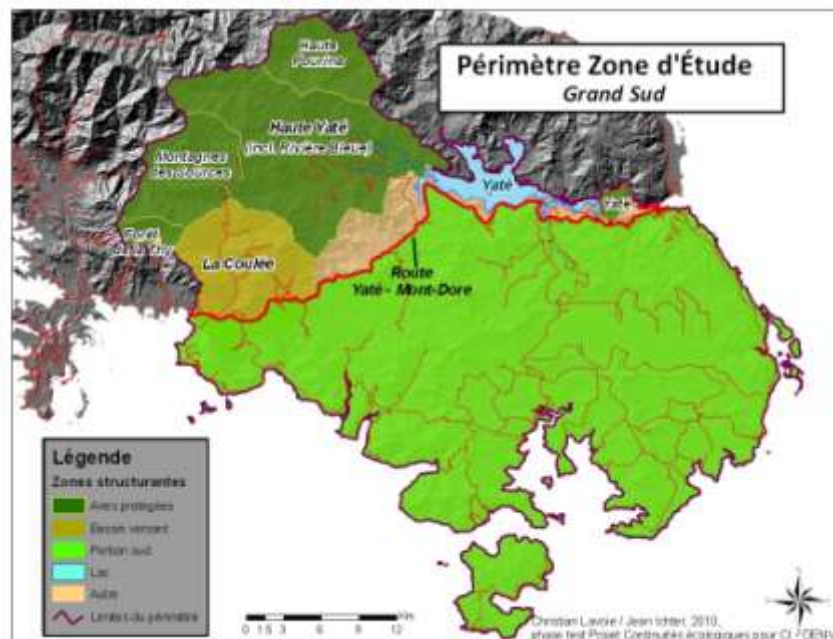
À ce stade de l'étude, une première série de données considérées comme utiles à la définition des continuités écologiques a été harmonisée afin d'être utilisée dans un système d'information géographique (voir annexe 4). Ce travail constitue une base d'information géographique fiable et harmonisée à laquelle inclure aisément les informations complémentaires à venir.

3. Déterminer précisément le périmètre d'étude

Au-delà de la définition du périmètre de la zone d'étude pour les intérêts scientifiques et opérationnels qu'elle représente, il est recommandé de définir un périmètre de travail un peu plus large de manière à ce que l'on puisse, si nécessaire, travailler sans problème sur la zone tampon des objets situés en limite de la zone intéressante.

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Le périmètre de la zone d'étude correspondant au Grand Sud a été défini en concertation avec la province Sud et les membres du groupe de travail « corridors Grand Sud ». Outre la zone située au sud de la route reliant Yaté au Mont-Dore, la zone d'étude comprend les territoires du Parc provincial de la rivière Bleue, de la réserve naturelle intégrale de la montagne des Sources et du bassin versant de la Coulée. Nous avons également intégré le lac de Yaté pour des raisons de continuité géographique et la réserve naturelle du Barrage de Yaté pour renforcer la cohérence du réseau d'aires protégées dans le Grand Sud (objectif n°1 de l'annexe 8.3 de la CCB). Un travail de découpe, selon les contours du périmètre de l'étude, des couches d'information disponibles a été réalisé. Ce travail sur la couche des milieux naturels de la province Sud a spécifiquement requis de vérifier l'intégrité des polygones qui la compose.



4. Identifier les zones nodales ou réservoirs de biodiversité

Comme nous l'avons vu précédemment ces zones nodales incluent les zonages existant pertinents (aires protégées, réserves privées, périmètre de protection des eaux...), les milieux naturels remarquables (qualitativement ou quantitativement) et les habitats d'espèces d'intérêt pour la conservation comme les ZICO (Spaggiari, Chartendrault et al. 2006) et les sites clés pour la conservation de la biodiversité (KBA / Profil d'écosystèmes de Nouvelle-Calédonie - travail en cours).

Une liste et une cartographie de ces réservoirs devra être produite puis validée dans la mesure où ces sites constituent les points d'ancrage du futur réseau écologique qui contribuera à leur maintien. Il pourra être utile de hiérarchiser l'importance de ces sites, en quelques catégories, en fonction de leur contribution estimée à la valeur écologique du paysage. Une représentation cartographique reprenant les différents niveaux de contribution à la valeur écologique globale du continuum pourra être réalisée.

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Une cartographie indicative des zones nodales potentielles a été réalisée sur la base des recommandations de l'UICN en matière de définition des priorités de conservation (Langhammer, Bakarr et al. 2007) et dans le cadre d'un projet collégial piloté par les provinces de la Nouvelle-Calédonie (groupe « Profil d'écosystèmes de Nouvelle-Calédonie »). Cette représentation intègre également les aires protégées, les périmètres de protection des captages d'eau et les ZICO. Ces résultats cartographiques sont présentés dans l'annexe 5.

5. Cartographier les sous-trames

Il est d'usage d'identifier une demi-dizaine de sous-trames. Pour le territoire considéré il a été proposé de retenir les sous-trames suivantes :

- Sous-trame de forêt ;
- Sous-trame de maquis ;
- Sous-trame des zones aquatiques et humides (incluant aussi les zones de mangrove).

Il a été envisagé en groupe de travail de faire une distinction altitudinale pour les sous-trames de forêt et de maquis sur la base d'une limite entre les domaines de basse et de moyenne altitude fixée à 1 100 mètres (Boyeau 2005). Après vérification, les milieux naturels d'altitude supérieure à 1 100 mètres ne sont pas (ou de manière insignifiante) représentés sur la zone d'étude. Cette option n'a donc pas été retenue.

Il conviendra ensuite de caractériser chaque sous-trame en lui affectant, selon une application surjective (une classe d'occupation du sol ne peut être affectée qu'à une seule sous-trame), les classes d'occupation du sol qui la compose. Il a été recommandé par les membres du groupe de travail que les maquis para-forestiers, considérés comme des formations para-climaciques d'intérêt majeur pour la conservation, soient intégrés à la sous-trame forestière. Les classes d'occupation du sol qui ne sont rattachés à aucune sous-trame constituent la matrice.

À l'intérieur de chaque sous-trame on pourra ensuite identifier quatre types de milieux : répulsif, peu fréquenté, attractif et structurant qui correspondent à l'affinité qu'ils présentent pour l'espèce ou le groupe d'espèces cible. Par exemple, dans le cas de la sous-trame des zones aquatiques et humides, il pourrait s'agir de classer dans ces quatre catégories les cours d'eau en fonction de leur qualité hydrique ou écologique.

Il est possible d'enrichir la donnée sur l'occupation du sol par d'autres informations relatives à la connectivité d'une sous-trame comme la présence d'éléments structurant le paysage (e.g. relief, réseau hydrographique...) ou bien encore l'existence de projets ou de réglementations s'il s'avère que ces éléments favorisent les déplacements des espèces cibles ou maintiennent l'intégrité des habitats considéré comme important pour la connectivité du paysage. Souvent ces critères seront utilisés visuellement pour nuancer, si besoin, les cartes de continuité structurelle ou fonctionnelle obtenu méthodiquement (voir ci-après).

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Chacune des trois sous-trames a été caractérisée au moyen des classes d'occupation du sol qui la compose. Étant donné le nombre important de classes de la cartographie des milieux naturels ($n = 158$), nous avons proposé, à titre exploratoire, une simplification du nombre de classes (voir annexe 6). Pour effectuer ces regroupements nous avons notamment regardé la représentativité de la classe dans la zone d'étude. En effet, de nombreuses classes n'étaient représentées que par un nombre limité de polygones, ils ont donc été rattachés à la classe d'habitat la plus proche en termes d'occupation du sol. Les cartes des différentes sous-trames sont présentées en annexe 7.

En matière d'éléments structurant du paysage, nous avons intégré au système d'information géographique le réseau hydrographique ainsi qu'une couche d'information sur les pentes (calculées à partir du modèle numérique de terrain).

6. Caractérisation et cartographie de la connectivité structurelle

Il est possible de mesurer la connectivité structurelle supposée d'un paysage grâce à des indices mais aussi de la représenter au moyen de cartes.

Par l'approche indiciaire

La première étape consiste à calculer des paramètres quantitatifs de caractérisation structurelle du paysage (Voir chapitre mesures basées sur la forme des patches). Pour commencer, on calcul la superficie relative de chaque classe d'habitat dans le paysage, puis le rapport périmètre sur aire moyen des polygones constitutifs de ces classes.

On estime ensuite la surface de cœur des polygones de la classe « forêt » en leur soustrayant une zone tampon correspondant à l'effet lisière (Elkie et al., 1999). La distance de cette zone tampon sera définie par le Groupe de travail « Corridors Grand Sud » après une phase de calibrage. Les résultats seront exprimés en superficie totale mais également représentés dans une cartographie SIG.

Enfin, la contiguïté spatiale moyenne des polygones de chaque classe sera estimée sous forme d'indice à l'aide du logiciel Fragstat (Matthews, 2005).

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Une vérification de l'intégrité de la donnée cartographique « milieux_naturels_province_sud » a été complétée de manière à éliminer les polygones « doublons » ainsi que les zones de superposition de polygones de différentes occupations du sol. La couche de données cartographique a par la suite été enrichie avec les données de correspondance de sous trames, de classes de milieu naturel simplifiées (annexe 6), et de coefficients de milieu pour deux espèces (Cagou et Notou) et une guildes cibles (lézards Scincidés forestiers) (annexe 10).

Périmètre sur aire : La couche résultante enrichie a été soumise à des traitements visant à isoler chaque classe (annexe 6) et de procéder à des mesures de superficies et de rapport périmètre sur aire pour les polygones constitutifs de chaque classe. Les données sont présentées pour chaque classe dans le tableau en annexe 8.

Zone de cœur : Les zones de cœur ont été générées pour la classe forêt (toutes classes de milieu confondues, ex. : forêt sur cuirasse, forêt sur roches acides). Toutefois, les classes forêts et les classes maquis paraforestiers ont été maintenues de façon séparée. Une carte représentant les zones de cœur superposées aux sous-trames a été générée (annexe 9).

Par l'analyse des continuums

La méthode proposée ici est une version plus élaborée que la méthode de dilatation-érosion (voir Chapitre Mesures de distances entre les patches) mais elle en conserve l'esprit.

Une analyse de l'occupation du sol, par l'application successive de zones tampons aux différents type de milieux du continuum (Asconit Conseil and DIREN Rhône-Alpes 2007) permettra d'identifier les zones prioritaires et les isolats relais de chaque sous-trame. Le résultat de cette analyse est une carte représentant les zones du continuum jouant un rôle primordial en matière de continuité.

La sous-trame des zones aquatiques et humides requiert un traitement particulier. Les cours d'eau qui, dans un SIG, sont souvent des polygones doivent être transformés en polygones par l'ajout d'une zone tampon dont le diamètre varie en fonction de l'importance du cours d'eau. Ces surfaces qui représentent leur lit mineur s'ajoutent aux autres milieux structurants de ce continuum. Ensuite on procède de manière similaire au traitement réalisé dans les autres trames. Parallèlement, la contribution de chaque cours d'eau à la connectivité des milieux aquatiques sera évaluée en fonction des critères définis par Wetlands International (Jenkins, Jupiter et al. 2010) à Fidji (voir encadré 3).

Pour finir on réalise la synthèse des différents continuums (cf. figure 8). Le principe de cette synthèse est de compiler, dans une seule couche d'information, la contribution de chaque milieu (répulsif, peu fréquenté, attractif et structurant) d'un continuum en matière de potentiel

d'accueil des espèces cibles. Il est bien entendu possible de pondérer les sous-trames en fonction de leur importance écologique ou de leur sensibilité à l'aménagement du territoire.

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

L'analyse des continuums a été testée sur la zone d'étude en s'inspirant du guide technique des infrastructures vertes et bleue de Rhône-Alpes (Asconit Conseil and DIREN Rhône-Alpes 2007). Nous avons cependant limité l'analyse à la sous-trame forestière. Des coefficients (valeur de 1 à 4) ont été appliqués à chacune des classes d'occupation du sol (annexe 6) en fonction de leur caractère : répulsif (1), peu fréquenté (2), attractif (3), ou structurant (4). Les coefficients ont été définis à titre exploratoire pour une guilda de Scincidés forestiers représentative de la sous-trame et basés sur l'importante bibliographie disponible (Sadler and Jourdan 2010, Sadler and Shea 2006, Sadler and Shea 2004, Bauer and Sadler 2000). En l'absence de données sur la dispersion des lézards en Nouvelle-Calédonie, les zones tampons (500 mètres et 2000 mètres) ont été définies sur la base d'études menées en Allemagne sur le lézard des souches *Lacerta agilis* (Glandt & Bischoff, 1988).

Les continuums sont définis en fonction de la proximité des milieux attractifs et peu fréquentés dans un rayon de 2000 mètres puis 500 mètres autour des milieux structurants. Dans un premier temps, nous avons isolés les milieux attractifs dans une zone tampon de 2000 mètres autour des milieux structurants. Dans un second temps, nous avons inclus dans le continuum les milieux peu fréquentés qui répondaient aux critères suivants : être situés à la fois à moins de 500 mètres d'un milieu structurant, être situés à moins de 500 mètres d'un milieu attractif inclus dans la zone tampon initiale de 2000 mètres, et être situés à l'intérieur de la zone initiale de 2000 mètres. Enfin, nous avons identifié les milieux relais correspondant aux polygones « miettes » du continuum, c'est-à-dire les milieux attractifs ou peu fréquentés sans continuité avec des milieux structurants.

La carte en annexe 10 représente le résultat de l'analyse de continuum où les quatre milieux sont représentés en plus des zones relais ainsi que la portion « hors continuum ». Enfin, la même analyse a été effectuée à titre exploratoire pour le Notou (annexe 10)

7. Cartographie de la connectivité fonctionnelle par l'analyse de la perméabilité

Pour chaque sous-trame il conviendra, dans la mesure du possible, de définir un groupe d'espèces considérées comme caractéristiques de chaque continuum. À défaut, la connectivité d'un paysage étant en théorie mesurée et pertinente pour une seule espèce, on retiendra quelques espèces d'intérêt, aux caractéristiques écologiques intéressantes (bon modèle), et dont la connaissance est considérée comme suffisante pour avancer.

Ensuite on élaborera une matrice de résistance des milieux par sous-trame. C'est à dire que, pour une sous-trame donnée, on affectera à chacun des milieux le coefficient de résistance lui correspondant (i.e. résistance opposée par un milieu déterminé au déplacement des espèces

considérées comme caractéristiques de chaque sous-trame). Souvent ces coefficients de rugosité prennent des valeurs discrètes, au nombre de quatre, et détaillées comme suit :

- Milieu structurant ou zone nodale = 0 ;
- Milieu attractif = 5 ;
- Milieu peu fréquenté = 30 ;
- Et milieu répulsif *a priori* inaccessible = 100.

Il est possible d'affiner le modèle par l'ajout d'autres paramètres comme la voirie hiérarchisée selon son trafic ou la pente (définition d'un seuil infranchissable par l'espèce ou le groupe d'espèces cible). Pour encore plus de finesse on pourra choisir de pondérer chacun des paramètres en fonction de leur contribution relative à la capacité de déplacement de l'espèce cible. Enfin, grâce à ces paramètres, on modélisera la capacité de déplacement théorique des espèces cibles entre les différents milieux structurants afin de déterminer les zones associées à une connectivité fonctionnelle importante.

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Un test de cette approche a été réalisé en choisissant le Cagou comme espèce cible. Une matrice de résistance a été élaborée, encore une fois de manière exploratoire, avec l'aide précieuse de Sophie Rouys (PASC). La première étape consiste à convertir les polygones en image raster composée de carrés de 25 mètres de côté. Une carte représentant la résistance des milieux est alors produite. Elle est alors utilisée pour modéliser la distance fonctionnelle entre les habitats potentiels du Cagou. Enfin, à titre de comparaison, une carte des distances euclidiennes (non pondérée par la matrice de résistance) entre les habitats potentiels du Cagou est réalisée. Les résultats sont présentés dans l'annexe 11.

8. Identification des ruptures de continuité

Certains éléments naturels ou non peuvent occasionner une gêne plus ou moins importante –de l'imperméabilité totale à une gêne moindre en passant par un impact inconnu – à la circulation des organismes. Ils constituent alors des ruptures de continuité. Souvent l'intégration de ces éléments à l'analyse des continuités du paysage s'effectue suite à une analyse visuelle des ruptures de continuité cependant, comme nous l'avons dans le paragraphe précédent, il est aussi possible d'intégrer cette information dans les analyses de perméabilité.

Parmi ces éléments on citera par exemple les infrastructures routières classées selon l'importance de leur trafic, les zones d'intenses activités humaines (quelle soit urbaine, industrielle ou éventuellement agricole), les zones envahies par certaines espèces exotiques, les sols nus... En milieu aquatique la trentaine d'ouvrages seuils en V construits afin de mesurer le débit des cours d'eau constituent une rupture de continuité (Claude Lascombe, comm. pers.).

Ce qui a déjà été réalisé en direction de la phase deux du projet

Considérant que les zones dégradées peuvent représenter des ruptures de continuités potentielles (voir Synthèse des connaissances sur les menaces), une carte illustrant la représentation spatiale des zones de sols nus a été réalisée (annexe 12).

9. Prise en considération d'éléments de contexte

Comme nous l'avons vu précédemment la conservation des connectivités d'un paysage implique la compréhension et la gestion d'un socio-écosystème complexe et incertain. Il est donc nécessaire d'adapter la démarche rigoureuse présentée ci-dessus au contexte. En particulier nous recommandons que (i) la représentation cartographique des services écosystémiques qui sera proposé dans le cadre du profil d'écosystèmes et (ii) celle des activités humaines compatibles avec la conservation de la biodiversité et des connectivités (si son intérêt se confirme et que sa réalisation est accessible) puissent être considérées au moins de manière visuelle.

Remarques importantes

Tout travail géomatique doit être suivi par un groupe de travail et ses résultats régulièrement validés. D'une manière générale, le groupe de travail « corridors Grand Sud » devrait être en mesure d'apporter de l'information au projet et de répondre aux incertitudes. En effet, la mesure et l'identification de connectivités à l'échelle d'un paysage est un exercice complexe requérant de nombreuses informations qui, faute d'être immédiatement disponibles, devront être raisonnablement estimées après avis d'experts.

Conclusions

Ce rapport marque la fin de la première phase d'un projet qui vise à terme à identifier les continuités écologiques supportant la diversité biologique du Grand Sud puis à planifier et mettre en œuvre les actions qui favoriseront leur maintien ou permettront leur restauration.

Ce travail présente, à partir des résultats d'une analyse bibliographique approfondie, ce que la communauté scientifique entend par continuité écologique - en particulier ses composantes structurelles et fonctionnelles. Le rapport propose des clés pour comprendre comment on mesure et on identifie les connectivités écologiques, et illustre ces concepts à partir d'exemples choisis de projets menés sur l'ensemble des cinq continents - en particulier en métropole où, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, des trames vertes et bleus doivent être identifiées pour chaque région. Le rapport présente également les initiatives de conservation néo-calédoniennes, principalement initiées sous l'impulsion du Programme de conservation des forêts sèches, qui ont intégrées des notions de connectivité.

La connaissance disponible et utile pour l'identification et la cartographie des connectivités écologique du Grand Sud a été collectée lors d'entretiens avec de nombreux experts ainsi que par la consultation d'une bibliographie considérée comme exhaustive.

À la suite de ces travaux nous proposons une démarche de travail qui conduira à l'identification d'une méthode appropriée, puis à la cartographie des connectivités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie. Pour s'assurer de sa pertinence plusieurs étapes de la démarche ont été testées et elles ont produit des résultats intéressants qui sont résumés dans le corps du texte et parfois présentés en annexe.

L'identification et la cartographie des continuités écologiques ne constitueront qu'une première étape fondamentale, d'un projet de maintien ou de restauration des continuités écologiques. Conçu pour assurer la résilience et faciliter la capacité d'adaptation des environnements qu'ils ciblent, ce projet requière un large éventail de connaissances, de compétences et d'expériences ainsi que de réelles capacités techniques afin de :

- créer une dynamique vertueuse entre les nombreux partenaires concernés ;
- mobiliser l'information issue de différentes disciplines scientifiques et dont l'analyse permettra une identification collégiale des problèmes puis des solutions qu'il sera possible de proposer ;
- construire une vision à long terme et partagée de l'avenir du Grand Sud ainsi qu'imaginer la stratégie et les actions qui permettront de l'atteindre ;
- mettre efficacement en œuvre, sur le terrain et avec les partenaires, cette stratégie dans ses différentes composantes (politiques – *policies*, législatives y compris en termes de fiscalité et programmatiques) ;
- suivre et d'évaluer les résultats obtenus afin d'adapter de manière continue et dans un esprit d'apprentissage constant la gestion du projet là où ce sera nécessaire.

La tâche sera donc aussi complexe que passionnante et nécessaire. Aussi, afin d'en faciliter la mise en œuvre future, la présente étude, mise à la disposition du groupe de travail « corridors Grand Sud », propose une première analyse des considérations écologiques, institutionnelles, sociales et individuelles, comme référence pour guider les parties prenantes.

Bibliographie

- AIME (2008). Étude de prévention contre les feux de forêts et de faisabilité de la réhabilitation des sites dégradés dans la vallée de la Coulée suite aux incendies de décembre 2005 à janvier 2006. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, AIME pour la Province Sud.
- Allen, G. R. (2008). "Conservation hotspots of biodiversity and endemism for Indo-Pacific coral reef fishes." *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **18**(5): 541-556.
- Asconit Conseil and DIREN Rhône-Alpes (2007). Infrastructures vertes et bleues - guide technique. Lyon, France: 59 pp.
- Baby, É. and H. Jourdan (2010). Inventaire entomologique des aires protégées de la province Sud - synthèse bibliographique. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 55.
- Baby, É. and H. Jourdan (2010). Inventaire myrmécologique des aires protégées de la province Sud - Deuxième étude réalisée sur les réserves du Mont Do, du Pic Ninga, du Mont Humboldt, de la Nodéla et des Chutes de la Madeleine. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 30.
- Barrabé, L., F. Rigault, et al. (en cours). Recensement du patrimoine botanique des aires protégées terrestres de la Province Sud - caractérisation et cartographie des formations végétales de 10 aires protégées terrestres de la province Sud. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement.
- Barré, N., M. de Garine-Wichatitsky, et al. (2003). "Contribution to the knowledge of the New Caledonian imperial pigeon *Ducula goliath* (Gray 1859) with emphasis on sexual dimorphism." *Notornis* **50**: 155-160.
- Barré, N., F. Desmoulins, et al. (2005). Avifaune des zones humides de la Province Sud (Nouvelle-Calédonie). Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Société Calédonienne d'Ornithologie.
- Bauer, A. M. and R. A. Sadler (2000). *The herpetofauna of New Caledonia*. New-York, USA, The society for the study of Amphibians and Reptiles
- Beauvais, M. L., A. Coléno, et al. (2006). Les espèces envahissantes de l'archipel néo-calédonien. Un risque environnemental et économique majeur. Expertise collégiale IRD. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherches pour le développement: 84.
- Bennett, A. F. (2003). Linkages in the landscape - the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN.
- Bennett, G. and K. J. Mulongoy (2006). Review of experience with ecological network, corridors and buffer zones. *CBD Technical Series*. C. o. B. Diversity. Montréal, Canada, Secretariat of the Convention on Biological Diversity. **23**: 96.
- Berthoud, G., R. P. Lebeau, et al. (2004). Réseau écologique national REN. Rapport final. Cahiers de l'environnement. Berne, Suisse, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: 132 p.
- Birò, E., I. Bouwma, et al. (2006). Indicative map of the Pan-European Ecological Network in South-Eastern Europe. Technical background document. Tilburg, The Netherlands, European Centre for Nature Conservation.
- Boissenin, M., S. Gomez, et al. (2006). Interactions entre l'avifaune frugivore et la flore ligneuse en forêt sèche de Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut agronomique néo-calédonien. **2006**.
- Bonneton, G. (2003). Cartographie des grandes formations végétales et propositions de plans de gestion de trois réserves spéciales botaniques du Grand Sud néo-calédonien. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Province Sud.

- Boyeau, Y.-E. (2005). Cartographie et analyse spatiale des occurrences des incendies sauvages en province Nord. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie: 54 pp.
- Boyeau, Y.-E. (2005). Inventaire, cartographie et typologie des sites d'intérêt biologique et écologiques en province Sud. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Province Sud et Arborescence.
- Brescia, F. (1997). Etude du comportement de l'escargot de l'île des Pins (*Placostylus fibratus*) espèce endémique et menacée de Nouvelle-Calédonie. Contribution à la mise au point de méthodes d'élevage. Montpellier, France, CIRAD - EMVT: 84 pp.
- Brescia, F. (2007). Amélioration des connaissances et recommandations pour la sauvegarde des populations de mégachiroptères (rousettes) en province Sud de la Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut agronomique néo-calédonien: 147 pp.
- Cabeza, M. and A. Moilanen (2003). "Site-selection algorithms and habitat loss." Conservation Biology **17**(5): 1402-1413.
- Carpenter, R. J., J. Read, et al. (2003). "Reproductive traits of tropical rain-forest trees in New Caledonia." Journal of Tropical Ecology **19**(04): 351-365.
- Castellón, T. D. and K. E. Sieving (2006). "An Experimental Test of Matrix Permeability and Corridor Use by an Endemic Understory Bird." Conservation Biology **20**(1): 135-145.
- Chartendrault, V. and N. Barré (2006). Etude du statut et de la distribution des oiseaux des forêts humides de la province Sud de Nouvelle-Calédonie. Port-Laguerre, Nouvelle-Calédonie, Institut Agronomique néo-Calédonien.
- Chauvin, C. (2008). Analyse environnemental du secteur Pindaï-Nékoro. Cartographie des formations végétales de Pindaï à Népou. Bilan actuel et analyse diachronique de 1943 à 1976. Programme de conservation des forêts sèches. Nouméa, Nouvelle-Calédonie: 24 pp. + annexes.
- Colombo, R. (2008). Stratégies de dispersion chez quelques espèces de *Sapotaceae* de Nouvelle-Calédonie. Implications pour la conservation des forêts humides. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement et Université Montpellier II: 60 pp.
- Comité local IFRECOR (2008). Les lagons de Nouvelle-Calédonie - diversité récifales et écosystèmes associés. Nouméa, Nouvelle-Calédonie: 159 pp.
- COMOP TVB (2009). Trame verte et bleue - orientation nationale pour la préservation et la restauration des continuités écologiques : guide2 - appui méthodologique à l'élaboration régional de la TVB. Paris, France: 77.
- Cracco, M. and E. Guerrero (2004). Aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión de Corredores en America del Sur: Memorias del Taller Regional, 3 al 5 de junio Quito, Ecuador, UICN América del Sur.
- Crooks, K. R. and M. Sanjayan (2006). Connectivity conservation: maintaining connections for nature. Connectivity conservation. K. R. Crooks and M. Sanjayan. Cambridge, U.K., Cambridge University Press. **14**: 1-19.
- Cuenot, J., J. Konghouleux, et al. (2008). Inventaire myrmécologique des aires protégées de la province Sud - Première étude réalisée sur les réserves du Pic du Pin, de Cap N'Dua, du Grand Kaori, de la Forêt Cachée, de la Forêt Nord et de Yaté Barrage. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 33.
- Davidson, J., M. Lockwood, et al. (2006). Gouvernance principes for regional natural resource management. Hobart, Australia, University of Tasmania: 49 pp.
- de Longcamp, M. (2006). Identification des mécanismes de financement durable pour la biodiversité dans l'outre-mer français. Paris, France, WWF: 145.

- Deshaye, M. (2007). Projet d'expertise pour la réalisation d'une cartographie des espaces naturels terrestres non fragmentés. Montpellier, France, CEMAGREF: 2 pp.
- Desmoulins, F. and N. Barré (2004). Inventaire et écologie de l'avifaune du Plateau de Goro. Port-Laguerre, Nouvelle-Calédonie, Institut Agronomique néo-Calédonien: 47.
- Diamond, J. (1989). Overview of recent extinctions. Conservation for the twenty-first century. D. Western and M. C. Pearl. Oxford, UK, Oxford University Press: 37-41.
- Driver, A., R. M. Cowling, et al. (2003). Planning for living landscapes: perspectives and lessons from South Africa Cape Town, South Africa, Conservation International, Botanical Society of South Africa: 45.
- Ecclestone, K. and J. Field (2003). "Promoting Social Capital in a 'Risk Society': A new approach to emancipatory learning or a new moral authoritarianism?" British Journal of Sociology of Education **24**(3): 267-282.
- Elkie, P. C., R. S. Rempel, et al. (1999). Patch analyst user's manual - a tool for quantifying landscape structure. Thunder Bay, ON, Canada, Ontario Ministry of Natural Ressources - Northwest Science & Technology: 16 pp + append.
- éTec (2006). Identification, typologie et cartographie des forêts denses humides sempervirentes de la Province Sud. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Direction des ressources naturelles de la Province Sud: 85 pp.
- Fagan, W. F. and J. M. Calabrese (2006). Connectivity conservation. Connectivity conservation. K. R. Crooks and M. Sanjayan. Cambridge, U.K., Cambridge University Press. **14**: 297-318.
- Fischer, J. and D. B. Lindenmayer (2007). "Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis." Global Ecology and Biogeography **16**(3): 265-280.
- Flouhr, C., & Mary, N. (2006). Synthèse des données sur la biodiversité des écosystèmes d'eau douce. WWF - CI.
- Gilbert-Norton, L., R. Wilson, et al. (2010). "A Meta-Analytic Review of Corridor Effectiveness Una Revisión Meta-analítica de la Efectividad de los Corredores." Conservation Biology **24**(3): 660-668.
- Glandt, D. and W. Bischoff (1988). Biologie und Schutz des Zauneidechse (*Lacerta agilis*). Bonn, Deutschland.
- Goodwin, B. J. and L. Fahrig (2002). "How does landscape structure influence landscape connectivity?" Oikos **99**(3): 552-570.
- Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (2009). Le schéma de mise en valeur des richesses minières de la Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie.
- Graham, J., B. Amos, et al. (2003). Governance principles for protected areas in the 21st century. Ottawa, Canada, Institue of governance, Parks Canada and Canadian International Development Agency: 44 pp.
- Hequet, V., M. Le Corre, et al. (2009). Les espèces exotiques envahissantes de Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement.
- Hjermann, D. O. and R. A. Ims (1996). "Landscape ecology of the wart-biter *Decticus verrucivorus* in a patchy landscape." Journal of Animal Ecology **65**(6): 768-780.
- Hobbs, R. J., D. A. Saunders, et al. (1993). "Integrated landscape ecology: A Western Australian perspective." Biological Conservation **64**(3): 231-238.
- Ibanez, T. (2009). Incendies et vulnérabilité des forêts denses humides : études de la mosaïque savane / forêts en Nouvelle-Calédonie. Aix-en-Provence, France, ECOREV, CEREGE: 10 pp.
- Jaeger, J. A. G., R. Bertiller, et al. (2008). "Implementing Landscape Fragmentation as an Indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (Monet)." Journal of Environmental Management **88**(4): 737-751.

- Jaffré, T. (1980). Végétation des roches ultrabasique en Nouvelle-calédonie. Documents scientifiques et techniques. Nouméa, New Caledonia, ORSTOM. **124**: 273 pp. + annexes.
- Jaffré, T., (2000). Caractéristiques floristiques de la zone de Prony à Goro. Rapport de consultance pour Goro Nickel SA. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD :36
- Jaffré, T. (2003). "Une flore exceptionnelle." Science au Sud, le journal de l'IRD **20**: 8.
- Jaffré, T., Dagostini, G., et al. (2003). Identification, typologie et cartographie des groupements végétaux de basse altitude du Grand Sud calédonien et de la vallée de la Tontouta. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 84.
- Jaffré, T., Dagostini, G., et al. (2004). Inventaire floristique des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro Nickel. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD.
- Jaffré, T., P. Morat, et al. (1987). "Changements dans la végétation de la Nouvelle-Calédonie au cours du Tertiaire : la végétation et la flore des roches ultrabasiques." Adansonia: 365-391.
- Jaffré, T., P. Morat, et al. (2001). Composition and characteristics of the native flora of New Caledonia. Documents scientifiques et techniques. Nouméa, New Caledonia, IRD. **114**: 121.
- Jaffré, T., J. Munzinger, et al. (2010). "Threats to the conifer species found on New Caledonia's ultramafic massifs and proposals for urgently needed measures to improve their protection." Biodiversity and Conservation.
- Jappiot, M., C. Phillibert-Caillat, et al. (2003). Analyse spatiale des interfaces agricultures-forêt-urbain Nice, France, Conseil régional provence Alpes Côte d'Azur: 69-81.
- Jenkins, A. P., S. D. Jupiter, et al. (2010). "The importance of ecosystem-based management for conserving aquatic migratory pathways on tropical high islands: a case study from Fiji." Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **20**(2): 224-238.
- Jongman, R. H. G. and I. Kristiansen (1998). National and regional approaches for ecological networks in Europe. Strasbourg, France, Conseil de l'Europe: 73 pp.
- Jourdan, H. and J. Chazeau (1999). Les fourmis comme bio-indicateurs : l'exemple de la myrmécaofaune néo-calédonienne. Actes du colloque insectes sociaux.
- Jourdan, H., R. A. Sadlier, et al. (2001). "Little fire ant invasion *Wasmania auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) as a threat to New Caledonia lizards: evidences from sclerophyll forest." Sociobiology **38**(3): 283-301.
- Kettle, C. J., R. A. Ennos, et al. (2008). "Cryptic genetic bottlenecks during restoration of an endangered tropical conifer." Biological Conservation **141**(8): 1953-1961.
- Kettle, C. J., P. M. Hollingsworth, et al. (2007). "Identifying the early genetic consequences of habitat degradation in a highly threatened tropical conifer, *Araucaria nemorosa* Laubenfels." Molecular Ecology **16**(17): 3581-3591.
- Kier, G., H. Kreft, et al. (2009). "A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions." Proceedings of the National Academy of Sciences **106**(23): 9322-9327.
- Kindlmann, P. and F. Burel (2008). "Connectivity measures: a review." Landscape Ecology **23**(8): 879-890.
- Lagro, J. J. (1991). "Assessing patch shape in landscape mosaics." Photogrammetric Engineering and remote sensing **57**(3): 285-293.
- Langhammer, P. F., M. I. Bakarr, et al. (2007). Identification and gap analysis of key biodiversity areas: targets for comprehensive protected area systems. Best Practice Protected Areas Guidelines. Gland, Switzerland, IUCN: 116.

- Lethier, H. (2007). Plan de sauvegarde de la biodiversité terrestre de la société Goro Nickel. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, EMC² / Province Sud: 32.
- Letocart, Y. (1998). Observations par radio-tracking des comportements du Notou (*Ducula goliath*) dans le Parc Provincial de la Rivière Bleue d'Août 1993 à Décembre 1997. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Service des Parcs et Réserves terrestres, Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud: 46.
- Lockwood, M. (2010). Scoping the territory: considerations for connectivity conservation managers. Connectivity conservation management, a global guide. G. L. Worboys, W. L. Francis and M. Lockwood. London, UK and Washington DC, USA, Earthscan: 34-51.
- Lockwood, M., J. Davidson, et al. (2010). "Governance Principles for Natural Resource Management." Society & Natural Resources: An International Journal **23**(10): 986 - 1001.
- Maillard, H. (2010). Cartographie des milieux naturels en province Sud. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, EMR - Environnement de la mine au récif et MAGIS: 63 pp.
- Mareschal, J. (2009). Impact des pollutions lumineuses sur les procellariidae de Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Société calédonienne d'ornithologie.
- Marquet, G., P. Keith, et al. (2003). "Atlas des poissons et crustacés d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie." Patrimoines naturels **58**: 1-282.
- Mary, N. (2000). Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie, Proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Papeete, Polynésie française, Université française du Pacifique.
- Matthews, K. (2005). Identification, cartographie des unités paysagères de forêt sèche de la Nouvelle-Calédonie et méthodologie d'analyse et d'action. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, WWF et Service des méthodes administratives et informatiques: 46 pp.
- McCoy, S., T. Jaffré, et al. (1999). "Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia." Journal of Biogeography **26**(3): 579-594.
- Mériot, J.-M. and Y. Letocart (2003). Recensements des oiseaux dans deux Réserves Spéciales Botaniques du sud : Yaté barrage et Forêt cachée. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Service des Parcs et Réserves Terrestres, Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud: 6.
- Meyer, J.-Y., L. L. Loop, et al. (2006). Les plantes envahissantes et potentiellement envahissantes dans l'archipel néo-calédonien : première évaluation et recommandations pour leur gestion Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien. M.-L. Beauvais, A. Coléno and H. Jourdan. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 50-115.
- Mittermeier, R. A., P. R. Gil, et al. (2004). Hotspots revisited. Mexico city, Mexico, CEMEX.
- Mittermeier, R. A., T. B. Werner, et al. (1996). "New Caledonia - a conservation imperative for ancient land." Oryx **30**(2): 104-112.
- Moilanen, A. and M. Nieminen (2002). "Simple connectivity measures in spatial ecology." Ecology **83**(4): 1131-1145.
- Morat, P., T. Jaffré, et al. (1986). "Affinités floristiques et considérations sur l'origine des maquis miniers de la Nouvelle-Calédonie." Adansonia **8**(2): 133-182.
- Mouly, A. (2006). "Satut de *Plectoria paradoxa* Virost, Rubiaceae myrmecophile de Nouvelle-Calédonie." Adansonia **28**(1): 161-166.
- Munzinger, J., Dagostini, G., et al. (2004). Inventaire floristique des zones S1, S2, S3 et S4 à Prony définies par Goro Nickel SA. Rapport de consultance pour Goro Nickel SA . Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD: 24.

- Munzinger, J., Dagostini, G., et al. (2005). Inventaire floristique des zones S6, S7, S8 et S9 à Prony définies par Goro Nickel SA. Rapport de consultance pour Goro Nickel SA. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD: 28.
- Munzinger, J., Dagostini, G., et al. (2005). Inventaire floristique de la zone S5, à Prony Ouest, définie par Goro Nickel SA. Rapport de consultance pour Goro Nickel SA. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD: 14.
- Munzinger, J., Dagostini, G., et al. (2007). Inventaire de la réserve de la Forêt Nord. Rapport de consultance pour Goro Nickel SA. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD: 52.
- Munzinger, J., D. Kurpysz, et al. (2008). Caractérisation taxonomique et patrimoniale des lambeaux forestiers dans le Grand Sud calédonien, implication pour la gestion et la préservation de ces formations. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Institut de recherche pour le développement: 74.
- Myers, N. (1988). "Threatened biotas : 'hot spots' in tropical forests." The Environmentalist **8**(3): 187-208.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, et al. (2000). "Biodiversity hotspots for conservation priorities." Nature **403**: 853-858.
- Nichols, J. D. and W. L. Kendall (1995). "The use of multi-state capture-recapture models to address questions in evolutionary ecology." Journal of Applied Statistics **22**(5): 835 - 846.
- Olson, D. and E. Dinerstein (2002). "The global 200: Priority ecoregions for global conservation." Annals of the Missouri Botanical Garden **89**: 199-224.
- Pease, A. and S. Roda (2008). Multi-scale approach to landscape connectivity and habitat configuration in the Atlantic forest of Brazil. C. Internacional. Belo Horizonte, Conservation International: 42 pp. + annexes.
- Pinto, N. and T. Keitt (2009). "Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach." Landscape Ecology **24**(2): 253-266.
- Pirard, R., R. Billé, et al. (2010). Questionning the theory of payments for ecosystem services (PES) in light of emerging experience and plausible developments. Iddri Analyses. Paris, France, IDDRI. **04/10**: 24 pp.
- Pöllabauer, C. (2007). Inventaire piscicole du creek de la baie Nord ainsi que des rivières Kwé (principale), Wadjana et Trou bleu. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Erbio à la demande de VALE INCO.
- Pöllabauer, C., N. Bargier, et al. (2005). Projet Goro Nickel - Écosystèmes d'eau douce. Partie 1 : caractérisation de l'état initial Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Erbio.
- Richer de Forges, B. and M. Pascal (2008). "La Nouvelle-Calédonie, un « point chaud » de la biodiversité mondiale gravement menacé par l'exploitation minière." Journal de la Société des Océanistes: 126-127.
- Roberts, C. M., C. J. McClean, et al. (2002). "Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for Tropical Reefs." Science **295**(5558): 1280-1284.
- Rodary, E. and J. Milian (2008). Extension et diversification des aires protégées : rupture ou continuité ? Aires protégées, espaces durables ? C. Aubertin and E. Rodary. Marseille, France, Institut de recherche pour le développement: 33-53.
- Rouys, S., V. Chartendault, et al. (2009). Plan d'action pour la sauvegarde de Cagou (*Rhynchochetos jubatus*) 2009-2020. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Société calédonienne d'ornithologie et Conservation International.
- Rouys, S. and J. Theuerkauf (2003). "Factors determining the distribution of introduced mammals in nature reserves of the southern provinces, New Caledonia." Wildlife Research **30**: 187-191.

- Ruckelshaus, M., C. Hartway, et al. (1997). "Assessing the Data Requirements of Spatially Explicit Dispersal Models." Conservation Biology **11**(6): 1298-1306.
- Sadlier, R. A. and H. Jourdan (2010). Inventaire herpéthologique des aires protégées de la province Sud - synthèse bibliographique. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Australian Museum
- Institut de recherche pour le développement: 29.
- Sadlier, R. A. and G. M. Shea (2004). Étude faunistique spécifique herpétofaune sur le site minier Goro Nickel proposé. Unpublished report to Goro Nickel S.A. Sydney, Australie, Australian Museum Business Service: 31 pp.
- Sadlier, R. A. and G. M. Shea (2006). Etude de l'herpétofaune de quatre réserves spéciales du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie et propositions d'orientations de mesures de conservation - Réserve spéciale botanique Forêt Nord, Réserve spéciale botanique Cap N'Doua, Réserve spéciale botanique Pic du Pin et Réserve spéciale botanique Pic du Grand Kaori. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Australian Museum Business Service: 70 pp.
- SIRAS Pacifique (2010). Cartographie de la végétation - complément d'étude relatif à la réalisation de l'état des lieux environnemental de l'aire protégée des Bois du Sud. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, SIRAS Pacifique pour la Province Sud.
- Smith, S. A., R. A. Sadlier, et al. (2007). "Molecular phylogeny of the scincid lizards of New Caledonia and adjacent areas: Evidence for a single origin of the endemic skinks of *Tasmantis*." Molecular Phylogenetics and Evolution **43**: 1151-1166.
- Soubeyran, Y. (2008). Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités française d'outre-mer. Etat des lieux et recommandations. Paris, France.
- Spaggiari, J., V. Chartendault, et al. (2006). Zones importantes pour la conservation des oiseaux de Nouvelle-Calédonie. Nouméa, Nouvelle-Calédonie.
- Suprin, B., G. Agourou, et al. (1997). Statut des oiseaux dans les forêts littorales de la région de Port Boisé. Nouméa, Nouvelle-Calédonie, EGPR & PVF - Direction du Développement Rural: 11.
- Sutcliffe, O. L., V. Bakkestuen, et al. (2003). "Modelling the benefits of farmland restoration: methodology and application to butterfly movement." Landscape and Urban Planning **63**(1): 15-31.
- Tassin, J., N. Barré, et al. (2008). "Effect of ingestion by *Drepanoptila holosericea* (Columbidae) on the seed germination of *Santalum austrocaledonicum* (Santalaceae)." Journal of Tropical Ecology **24**(02): 215-218.
- Taylor, P. D., L. Fahrig, et al. (1993). "Connectivity is a vital element of landscape structure." Oikos **68**: 571-573.
- Thyriot, C. (2007). Cartographie des corridors écologiques / biologiques à l'échelle 1/25000^{ème} sur l'ensemble du Parc naturel régional du Pilat. Saint-Etienne, France, Parc naturel régional du Pilat: 51 pp. + 17 pp. annexes.
- Tischendorf, L. and L. Fahrig (2000). "How should we measure landscape connectivity?" Landscape Ecology **15**(7): 633-641.
- Uezu, A., J. P. Metzger, et al. (2005). "Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species." Biological Conservation **123**(4): 507-519.
- Urban, D. and T. Keitt (2001). "Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective." Ecology **82**(5): 1205-1218.
- Villard, P., N. Barré, et al. (2003). Effet de quelques paramètres géographiques sur la présence du Notou *Ducula goliath* et d'autres espèces d'oiseaux d'intérêt patrimonial en

- Nouvelle-Calédonie. Port Laguerre, Nouvelle-Calédonie, Institut Agronomique néo-Calédonien: 24.
- Vos and Chardon (1998). "Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*." Journal of Applied Ecology **35**(1): 44-56.
- Wiegand, T., K. A. Moloney, et al. (1999). "Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: a spatially explicit perspective." The american naturalist **154**(6): 605-627.
- With, K. A. and T. O. Crist (1995). "Critical Thresholds in Species' Responses to Landscape Structure." Ecology **76**(8): 2446-2459.
- With, K. A., R. H. Gardner, et al. (1997). "Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous environments." Oikos **78**: 151-169.

Liste des figures

Figure 1 : Les différentes échelles de corridors

Figure 2 : Schéma de présentation des différents éléments constitutifs d'un réseau écologique.
Source : d'après la Fédération des parcs naturels régionaux de France.

Figure 3 : La technique de « dilatation-érosion ». Source : Guide méthodologique trame verte et bleue (COMOP TVB 2009)

Figure 4 : Les effets de seuils. Source : Fagan et Calabrese (2006)

Figure 5 : Indice d'agrégation du paysage .Source : Jappiot, Phillibert-Caillat et al. (2003)

Figure 6 : Indice de surface de cœur. Source : Elkie et al (2009)

Figure 7 : Les cinq continuums constitutifs du Réseau écologique national Suisse. Source : (Berthoud, Lebeau et al. 2004)

Figure 8 : Exemple de TVB composée de sous-trames écologiques spécifiques. Source : (COMOP TVB 2009)

Figure 9 : Représentation schématique des trois phases d'identification des corridors. Source : (COMOP TVB 2009)

Liste des tableaux

Tableau 1: Résumé synthétique des avantages possibles et attendus ainsi que des inconvénients à envisager lors d'opérations visant à maintenir ou à restaurer de la connectivité. Source : d'après Crooks et Sanjayan (2006)

Tableau 2 : Synthèse des différentes mesures de connectivité présentées dans cette synthèse.

Tableau 3 : Liste des photographies aériennes disponibles sur la zone d'étude par année et par échelle (source : DITTT)

Liste des acronymes

CEMAGREF	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
CCB	Convention pour la conservation de la biodiversité entre la province Sud et Vale NC
CI	Conservation International
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
DDR	Direction du développement rural
DIMENC	Direction de l'industrie des mines et de l'énergie
DITTT	Direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres
DTSI	Direction des technologies et sciences de l'information
EEE	Espèces exotiques envahissantes
IAC	Institut agronomique néo-calédonien
INC	Incendie et biodiversité des écosystèmes de NC
IRD	Institut de recherche pour le développement
KBA	<i>Key biodiversity area</i> (zone clé pour la conservation de la biodiversité)
OEIL	Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie
PASC	Plan d'action pour la sauvegarde du Cagou
SCO	Société calédonienne d'ornithologie
UICN	Union pour la conservation de la nature
WWF	Fonds mondial pour la nature
ZICO	Zone importante pour la conservation des oiseaux

Annexes

Annexe 1a : Compte-rendu de la réunion de mi-parcours du 27-08-2010

Annexe 1b : Compte-rendu de la réunion de restitution finale du 28-10-2010

Annexe 2 : Liste des personnes contactées

Annexe 3 : Projet de plan d'action pour les phases ultérieures du projet

Annexe 4 : Synthèse des données harmonisées et intégrée dans un système d'information géographique

Annexe 5 : Cartographie préliminaire des zones nodales potentielles

Annexe 6 : Liste des nouvelles classes d'occupation du sol après regroupement

Annexe 7 : Tableau Indices périmètre et aires

Annexe 8 : Cartographie des sous-trames

Annexe 9 : Zones de cœur de la sous-trame Forêt

Annexe 10 : Tests de la caractérisation de la connectivité structurelle par l'analyse des continuums

Annexe 11 : Estimation de la distance fonctionnelle entre les habitats potentiels du Cagou

Annexe 12 : Cartographie des zones dégradées

Annexe 1a : Compte-rendu de réunion mi-parcours du 27.08.2010

Etaient présents :

Vincent Mary (PS), Anne-Claire Goarant (PS), Francois Le Borgne (PS), Tristan Allignol (PS/VALE), Jean-Christophe Lefeuvre (CI), Jean Ichter (consultant), Jérôme Spaggiari (consultant), Hervé Jourdan (IRD), Laurent Maggia (IAC), Céline Casalis (VALE)

Etaient excusés :

Jérôme Munzinger (IRD)

Bruno Fogliani (UNC)

Etait absent :

Hubert Géraux (WWF)

Objet de la réunion

- Présentation du travail à mi-parcours réalisé dans le cadre de la convention entre CI et la PS
- Présentation de la démarche méthodologique proposée pour conforter ou revoir les orientations retenues à ce stade
 - Constitution d'un groupe de travail « corridors » ;
- La constitution d'un groupe de travail « corridors » est validé par les personnes présentes qui recommandent le maintien d'une certaine souplesse dans son fonctionnement ;
- Le groupe se réunira pour la réunion de restitution finale de l'étude prévue aux environs du 15 octobre 2010 et accompagnera la démarche l'année prochaine pour la compléter et la mettre en cohérences avec les nombreuses actions existantes ou envisagées sur la zone d'étude dans les prochaines années.

Remarques

En guise d'introduction CI et PS précisent l'objet de la réunion aux acteurs présents en rappelant notamment qu'elle s'inscrit dans le cadre d'une initiative pluriannuelle désireuse de collégialité et de partage de compétence.

Approche historique

V. Mary demande de considérer la pertinence de considérer une approche historique par analyse de photos aérienne (1950's et 1970's). D'un point de vue des espèces ce pas de temps est trop court. D'un point de vue paysager, cette analyse peut mettre en évidence l'évolution (disparition et réformation) de continuités. Considérant que les connections existantes sont généralement plus fonctionnelles que les connections créées, cette information peut être pertinente. J. Spaggiari rappelle que cette approche mise en œuvre par G. bonneton sur trois réserves naturelles de la PS n'avait pas permis de révéler d'évolution.

Sans conclure sur sa pertinence le groupe note que cette analyse ne peut formellement pas être conduite dans le cadre de cette étude mais une attention particulière sera portée à ces aspects sur la base d'analyses bibliographiques pertinentes.

Eau douce

A.-C. Goarant suggère d'inciter les membres du groupe de travail eau douce (eaux superficielles) de la CCB constitués de la DAVAR, UNC, DENV, DIMENC (en cours d'intégration).

L. Maggia signale que le GOPS travaille sur le fonctionnement de bassins versant en province Nord. Notamment il prévoit l'installation de tours à flux en zones de mangrove, de savanes à niaoulis et de pâturages. Il rappelle que la ressource en eau constitue un axe stratégique de la programmation de l'IAC et qu'un expert interviendra fin septembre sur ces questions. Enfin il signale que l'UNC, Michel Allenbach et VALE, Jean-Luc Folio, travaillent sur les écoulements de type karstiques dans le Grand Sud.

V. Mary sollicitera de l'Oeil la permission de communiquer le rapport de l'atelier sur les indicateurs de suivi des milieux aquatiques [rapport reçu le 1^{er} septembre 2010].

A.-C. Goarant recommande la consultation de Philippe Keith sur la connectivité des peuplements piscicoles et mentionne son étude sur la recolonisation de rivières polluées par l'activité minière.

Menaces

Feu

A.-C. Goarant recommande de consulter la Sécurité Civile, et plus particulièrement le C^{el}. Marchi-leccia, qui travaille sur la cartographie des événements incendiaires par suivi satellitaire (MODIS) complété par leurs interventions.

Fourmi électrique

H. Jourdan précise qu'il n'y a pas de cartographie de la distribution de *Wasmannia auropunctata* disponible à cette échelle mais des études sur les aires protégées plus quelques observations ponctuelles. Au-delà de la possibilité de modéliser sa répartition il serait plus pertinent d'étendre les zones envahies sur la base de sa vitesse de progression. Pour H. Jourdan la distribution potentielle de l'espèce est constituée des zones inférieures à 900 m dans lesquelles on trouve une litière et un couvert forestier. Elles sont absentes des maquis ligno-herbacés. VALE dispose de données présence-absence sur la zone d'influence. Il est aussi précisé que la présence de *Wasmannia auropunctata* constitue un facteur de rugosité important et une rupture de continuité avérée pour un certain nombre d'espèces animales.

Cerf Rusa

Un indice de leur présence est disponible au Parc de la rivière Bleue suite aux battues administratives. Une rencontre avec Joseph Manauté doit être organisée.

Discutions sur les options méthodologiques envisagées

Voir le détail de cette démarche dans la présentation reproduite ci-après et dont le contenu a été validé.

Choix des sous-trames

Selon les botanistes il semble que les maquis para-forestiers peuvent être considérés comme des para-climax qu'il est important de conserver. Deux pistes sont retenues : soit les intégrer dans une la sous-trame forestière, soit créer une sous-trame maquis para-forestiers aux cotés des trames forêt et maquis.

Choix des espèces cibles

Il est bien précisé que ces espèces ont deux vocations :

- Faciliter le choix des réservoirs de biodiversité ;
- Et servir de modèles à l'identification de continuités fonctionnelles spécifiques. L. Maggia propose que le choix de modèles prime sur celui d'espèces. Il semble judicieux d'aligner les mesures de perméabilité avec les travaux de recherche et de terrain en cours.

Paramétrage des outils

Bien que les approches proposées soient couramment utilisées J. Spaggiari rappelle l'enjeu du choix des paramètres de chaque outil et précise qu'il s'agit d'une étape technique requérant l'implication forte des meilleurs experts écologues. H. Jourdan et L. Maggia pensent qu'il est essentiel de consolider cette étape par une justification scientifique forte et recommandent que les besoins spécifiques identifiés en ce sens soient déclinés en projets sur lesquels leurs organismes pourront se mobiliser.

Suivi

Il faut envisager des indicateurs de l'évolution de cette continuité. L. Maggia suggère des mesures de l'évolution de la biomasse (tour à flux) couplé avec des transects le long desquels des inventaires seront réalisés.

Annexe 1b : Compte-rendu de la réunion de restitution finale du 28-10-2010

Etaient présents :

Anne-Claire Goarant (PS), Francois Le Borgne (PS), Tristan Allignol (PS/VALE), Jean-Christophe Lefeuvre (CI), Jean Ichter (consultant), Jérôme Munzinger (IRD), Laurent Maggia (IAC), Céline Casalis (VALE NC)

Etaient excusés :

Tanguy Jaffré (IRD), Hervé Jourdan (IRD), Hubert Géraux (WWF), Stéphane Mac Coy (VALE NC)

Objet de la réunion

Restitution du rapport « Mise au point d'une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie - Synthèse bibliographique et proposition d'une démarche ».

Sur base du rapport préalablement remis par transmission mail,

- Présentation de la démarche proposée et des premiers résultats obtenus à titre exploratoire.
- Discussion sur les phases ultérieures du projet sur la base de la proposition de plan d'action en annexe du rapport.

Commentaires sur la démarche proposée

Zone nodales

En plus des différents zonages de protection favorables à la biodiversité (aires protégées et périmètres de protection des eaux) et des zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO), le groupe de travail suggère de ne considérer pour le choix des zones nodales que les espèces ou groupes d'espèces qui seront retenus collégialement comme espèces indicatrices pour l'évaluation des connectivités.

Choix des sous-trames

Les maquis paraforestiers ont été intégrés dans la sous-trame forêt comme il a été décidé en réunion mi-parcours.

Concernant le gradient altitudinal évoqué en réunion mi-parcours pour distinguer les sous-trames d'altitudes inférieures à 1100 mètres, il est apparu que ces habitats ne sont pas (ou de manière insignifiante) représentés sur la zone d'étude.

Il est précisé toutefois qu'il peut exister des différences dans les communautés végétales liées à l'altitude même en dessous de 1100 mètres. Dans la cartographie des milieux naturels de la

province Sud, une distinction altitudinale entre les habitats naturels a été considérée à partir de 400 mètres. Il n'a pas été décidé s'il est pertinent de distinguer des sous-trames sur cette base.

Zone de cœur de la sous-trame forêt

La distance de l'effet-lisière dépend de la nature de la lisière (recolonisation naturelle ou dégradation par le feu) et de l'ancienneté de la perturbation.

Dans le contexte du Grand Sud, une distance de 100 mètre semble surestimée. Le groupe propose de considérer une distance de 50 mètres. A titre de comparaison, en forêt dense humide, des travaux du projet INC ont mis en évidence des effets de bord de 50 à 140 mètres.

En 2011, l'IRD va poursuivre son travail sur la flore du Grand Sud : inventaire et caractérisation de la flore des aires protégées pour la DENV et étude de la flore terrestre du bassin versant de la Wadjana pour VALE NC. L'IRD et la province Sud proposent au groupe de voir dans quelle mesure il serait possible d'estimer une distance moyenne correspondant à l'effet-lisière sur les zones qui seront étudiées.

Evolution de l'occupation des sols

Le groupe reconnaît l'utilité d'analyser l'évolution de l'occupation des sols en particulier pour appréhender les successions végétales. Cependant il est souligné que l'analyse des onze séries de photos entre 1954 et 2007 sur l'ensemble de la zone d'étude représenterait un travail très important. Il pourrait être intéressant de se rapprocher de l'CEIL qui a lancé un appel d'offre pour évaluer les modifications d'occupations du sol par télédétection. Il est rappelé que ce projet ne permettra pas de faire des analyses antérieures aux années 1990.

La DENV précise qu'elle a mandaté le bureau d'étude A2EP pour réaliser une étude diachronique sur la région de la plaine des lacs dans la perspective d'un classement de la zone en site RAMSAR.

Test de la connectivité structurelle par analyse des continuums

Les distances utilisées pour ce test sont trop inclusives et ne permettent donc pas de statuer sur la pertinence de l'outil. Le choix de(s) l'espèce(s) indicatrice(s) devra prendre en compte la distance de zone tampon appliquée. Il semble que cette méthode soit adaptée aux espèces dont la mobilité est inférieure à quelques centaines de mètres.

Connectivité des milieux aquatiques

Le groupe de travail insiste sur la nécessité de se mettre en cohérence avec les travaux en cours dans le domaine de l'eau en particulier avec l'CEIL et le groupe de travail eau douce de la CCB. L'affinage de la méthode d'évaluation des connectivités aquatiques en phase 2 devra se faire en interaction avec ces partenaires. Une réunion d'échange sera organisée à cet effet.

Il est précisé que les entretiens prévus avec le Muséum National d'Histoire Naturelle (Philippe Keith) et avec l'OEIL n'ont pas pu avoir eu lieu pour des raisons d'agendas.

Cartographie de la connectivité fonctionnelle par l'analyse de la perméabilité

Les résultats obtenus à titre exploratoire pour le Cagou sont encourageants. Le groupe Cagou (PASC) par l'intermédiaire de Sophie Rouys, s'est montré très intéressé de poursuivre ce travail. Pour autant, étant donnée la distribution de l'espèce limitée au nord du secteur d'étude, le Cagou ne peut être considéré comme une espèce indicatrice à l'échelle du Grand Sud.

L'analyse de la perméabilité devra donc être testée avec d'autres espèces indicatrices.

Menaces

Les menaces seront représentées dans une couche d'information qui sera superposée aux continuités écologiques identifiées. Le groupe souligne à la fois l'importance de cette information dans le cadre d'un réseau écologique mais également les connaissances très lacunaires de la répartition spatiale des principales menaces.

Concernant les incendies, il est suggéré de développer des interactions avec le projet INC. Christelle Hely (CEREGE) est proposée comme point focal.

Pour la représentation des zones dégradées, il a été décidé de considérer la cartographie de l'occupation du sol de la DTSI plutôt que la cartographie des milieux naturels qui est plus restrictive.

Perspectives

- Dans le cadre du CNRT « Nickel et environnement naturel » des appels à projets portant sur la connectivité vont être lancés. Le groupe recommande de travailler en collaboration avec les différents partenaires pour que les projets proposés puissent enrichir le travail d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud ;
- Un autre levier pour acquérir de la connaissance est le budget thèse de la province Sud ;
- Pour VALE NC, Céline Casalis confirme le soutien de l'industriel à la démarche d'identification de continuités écologiques à l'échelle du Grand Sud. Elle souligne que des échanges techniques ont eu lieu avec Stéphane Mac Coy et Thomas Le Borgne et qu'ils vont se poursuivre.

Conclusions

En premier lieu, le groupe de travail rappelle que la protection et/ou la restauration de continuités écologiques est un enjeu majeur pour la conservation de la faune et de la flore dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie.

Le groupe confirme qu'il valide la démarche proposée. Il reconnaît que les tests des méthodes proposées sont encourageants.

Les priorités sont désormais de :

- développer des interactions avec les partenaires pour optimiser la mutualisation des moyens et les capacités de chacun. Une réunion d'échange doit être organisée lors du premier trimestre 2011. Ces échanges devront permettre d'élargir le groupe de travail (CEIL, INC, Plan Cagou...) ;
- mettre en œuvre la programmation 2011, commençant notamment par définir précisément les espèces indicatrices pour identifier les zones nodales et choisir les modèles les plus appropriés en lien étroit avec le groupe de travail.

Les membres du groupe considèrent que les pas de temps de la recherche et du gestionnaire ne sont pas opposés mais complémentaires. Ils reconnaissent l'objectif initial d'identifier et de caractériser les continuités écologiques pour 2012 conformément aux échéances :

- de la convention cadre pluriannuelle d'étude (2010-2012) qui lie CI et la province Sud ;
- du programme quinquennal (2009-2013) de mesures compensatoires établi par la Convention pour la conservation de la biodiversité entre VALE NC et la province Sud.

Pour autant, il est entendu que ce travail devra être nécessairement prolongé au-delà de cette échéance pour permettre d'intégrer, d'une part, les nouvelles connaissances et, d'autre part, l'évolution des occupations du sol.

Annexe 2 : Liste des personnes contactées

Nom	Structure	Mail
Personnes rencontrées		
Ross Sadlier	Australian Museum	Ross.sadlier@austmus.gov.au
Jörn Theuerkauf	CORE.NC	jtheuer@miiz.waw.pl
Christian Lavoie	CI	c.lavoie@conservation.org
Roger James	CI	r.james@conservation.org
Marine Espigat	DDR (stagiaire)	marine.espigat@province-sud.nc
Christine Pöllabauer	ERBIO	erbio-pm@lagoon.nc
Romain Alliod	ERBIO	rom311@hotmail.com
Nathalie Mary	ETHYCO	nmary@free.fr
Stéphane Astrongatt	Expert indépendant	steph.astrongatt@gmail.com
Frédéric Desmoulins	Expert indépendant	desmoulins.fred@gmail.com
Claude Lascombe	Expert indépendant	claude-lascombe@orange.fr
Laurent L'Huillier	IAC	lhuillier@iac.nc
Laurent Maggia	IAC	laurent.maggia@cirad.fr
Fabrice Brescia	IAC	brescia@iac.nc
Hervé Jourdan	IRD	herve.jourdan@noumea.ird.nc
Mael Imirizaldu	OEIL	mael.imirizaldu@oeil.nc
Sophie Rouys	PASC	plancagou@sco.asso.nc
Vincent Mary	PS DENV	vincent.mary@province-sud.nc
Anne-Claire Goarant	PS DENV	anne-claire.goarant@province-sud.nc
Francois Le Borgne	PS DENV	francois.leborgne@province-sud.nc
Maëlle Bouché	PS DENV	emmanuelle.bouche@province-sud.nc
Laurent Verpeaux	PS DENV	laurent.verpeaux@province-sud.nc
Tristan Allignol	PS DENV -VALE	Tristan.Allignol@valeinco.com
Stéphane Mac Coy	VALE	stephane.mccoy@valeinco.com
Thomas Le Borgne	VALE	Thomas.leborgne@valeinco.com
Aaron Jenkins	Wetlands International	apijenkins@connect.com.fj
Hubert Geraux	WWF	hgeraux@wwf.nc

Personnes contactées		
Joseph Manauté	DENV	joseph.manaute@province-sud.nc
Jérôme Munzinger	IRD	jerome.munzinger@ird.fr
Philippe Keith	MNHN	keith@mnhn.fr
Bruno Fogliani	UNC	bruno.fogliani@unc-nc.nc
Christian Mille	IAC / SENC	mille@iac.nc
Colonel Marchi-leccia	Sécurité Civile	sarah.sery@nouvelle-caledonie.gouv.fr

Annexe 3 : Projet de plan d'action pour les phases ultérieures du projet

Le tableau qui suit présente un premier plan des actions à réaliser pour définir un programme de mise œuvre des grandes étapes d'un projet de maintien et de restauration des continuités écologiques dans le Grand Sud. Ce plan est présenté sous la forme d'un cadre logique afin de faciliter son utilisation ultérieure, toutefois à ce stade, son objectif est de présenter, aux partenaires historiques du projet, l'enchaînement des actions qui nous paraissent nécessaires et de construire avec eux un consensus autour des actions à entreprendre lors des phases suivantes du projet »

Objectifs généraux	Objectifs spécifiques	Actions	Résultats attendus	Type d'intervention	Durée (j-h)
Identifier les continuités écologiques supportant la diversité biologique du Grand Sud	Établir un diagnostic et proposer une méthodologie	Valider la démarche pour l'identification et la cartographie des continuités écologiques	Présent rapport	Collégialité	1
	Définition des modalités de gouvernance du projet	Identifier les partenaires qui seront impliqués aux différentes phases du projet	Liste de partanaires	Animation	2
		Réfléchir aux interactions entre ces partenaires et proposer une gouvernance du groupe	Organigramme de projet	Animation	2
		Assurer une communication ciblée et efficace des avancées et des résultats du projet	Partenaires informés et impliqués	Animation	10
	Identification et production des connaissances nécessaires au projet	Compléter l'inventaire de la donnée utilisable	Liste de jeux de données	Technique	4
		Finir l'intégration de la donnée utile dans un SIG	SIG complet et fonctionnel	Cartographique	10
		Identifier les besoins de connaissances complémentaires	Créneaux de recherche identifiés	Technique	10
		Organiser la recherche et la production de ces connaissances	Appels d'offres réussi	Animation	5
		Produire ces connaissances		Recherche	à déterminer

	Préparation des cartes préparatoires	Finaliser l'identification et cartographier les zones nodales	Carte des zones nodales	Technique	10
		Finaliser l'identification et cartographier les sous-trames	Carte des sous-trames	Cartographique	5
		Finaliser l'identification et cartographier les services écosystémiques	Cartes des services écosystémiques	Cartographique	5
		Finaliser l'identification et cartographier les activités humaines compatibles avec le maintien ou la restauration des connectivités écologiques	Carte des activités humaines compatibles	Cartographique	10
		Valider la carte des réservoirs de biodiversité, des sous-trames, des services écosystémiques et des activités humaines compatibles avec le projet	Atlas de cartes validées	Collégialité	1
	Évaluation et cartographie de la connectivité structurelle	Mesurer la connectivité structurelle au moyen d'indices	Mesures indiciaires de la connectivité structurelle du Grand Sud	Cartographique	5
		Finaliser la calibration de la méthode d'analyse des continuums en lien avec les experts concernés	Jeu de paramètres discutés	Technique	5
		Compléter la démarche pour l'évaluation de la connectivité des milieux aquatiques	Démarche mise à jour	Technique	10
		Cartographier la connectivité structurelle du Grand Sud	Carte de la connectivité structurelle dans le Grand Sud	Cartographique	10
	Cartographie de la connectivité fonctionnelle	Compléter la liste des espèces cibles propices à cet exercice	Liste des espèces cibles	Technique	5
		Paramétrer la matrice de résistance des espèces cibles sélectionnées avec l'aide des experts concernés	Matrice de résistance	Technique	5
		Cartographier la connectivité fonctionnelle pour les espèces cibles sélectionnées	Carte de la connectivité fonctionnelle des espèces cibles	Cartographique	10

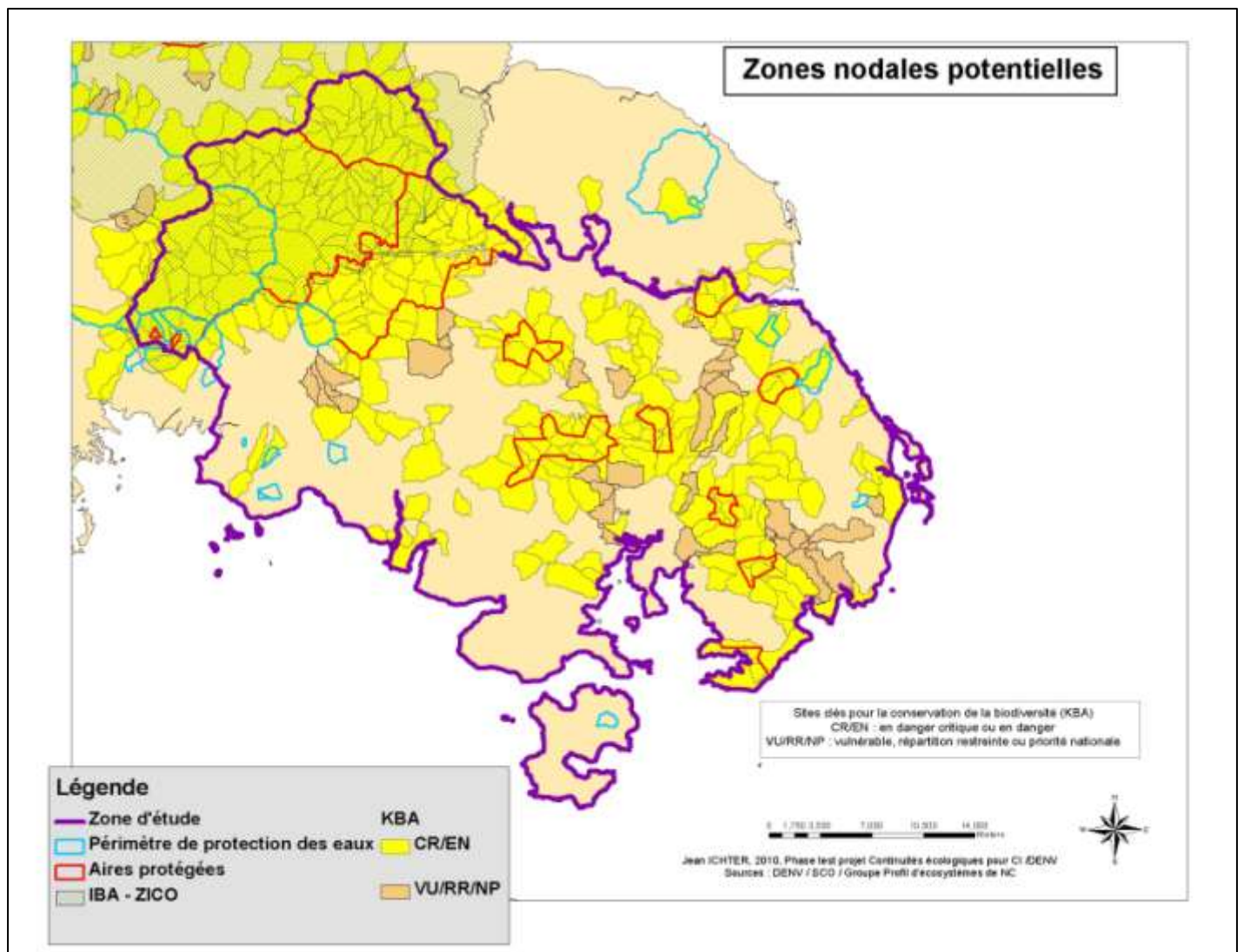
	Cartographie de ruptures de continuité	Compléter l'identification des ruptures de continuité	Liste des continuités possibles	Technique	5
		Modéliser l'occurrence de certaines menaces pouvant occasionner des ruptures de continuité	Carte des menaces modélisées	Cartographique	10
		Cartographier les ruptures de continuité	Carte des ruptures de continuité	Cartographique	5
Identifier et planifier pour chaque zone prioritaire les actions qui favoriseront le maintien de la connectivité écologique ou permettront sa restauration	Identification du meilleur réseau écologique, des zones prioritaires d'action et des grandes étapes de la mise en œuvre	Synthétiser les différentes couches d'informations et produire des cartes des réseaux écologiques susceptibles de soutenir la connectivité écologique dans le Grand Sud	Carte des différents réseaux écologiques envisageables	Cartographique	10
		Organiser un atelier d'information et de concertation	Atelier organisé et réussi	Animation	5
		Choisir collégialement le réseau écologique multipliant les opportunités socio-économiques et limitant les coûts d'opportunité		Collégialité	1
		Confronter la carte du/des réseau(x) écologique(s) avec celle des menaces pour identifier les zones où la connectivité est menacée = zones prioritaires d'action	Carte des zones prioritaires d'action	Cartographique	4
		Identifier les acteurs qui seront les mieux à même d'intervenir sur les zones prioritaires d'action	Acteurs identifiés et sensibilisés	Technique	30

		Définir pour les zones prioritaires d'action les modifications de comportement ou d'utilisation des terres / ressources à effectuer pour maintenir ou restaurer la continuité = grandes étapes du projet	Description des grandes étapes du projet pour les zones prioritaires d'action	Technique	30
		Compléter le diagnostic de certaines zones prioritaires d'action par une analyse de la dynamique passée des paysage (analyse diachronique de photographies aériennes anciennes)	Dynamique fine des sites prioritaires d'action comprise	Cartographique	15
	Programmer les actions sur les zones prioritaires	Établir une programmation et un calendrier de mise en œuvre des grandes étapes du projet	Programme et calendrier d'action	Animation	5
		Valider la programmation et le calendrier de mise en œuvre		Collégialité	1
		Définir un jeu d'indicateurs de suivi permettant d'évaluer la réussite de la mise en œuvre du projet	Jeu d'indicateurs de suivi et d'évaluation pertinents	Technique	10

Annexe 4 : Synthèse des données harmonisées et intégrées dans un système d'information géographique

Source	Couche	Remarque
Espèces		
SCO	IBA	
SCO	Points d'observation	
AER CI/WWF	poissons	
Whitaker	Reptile Data - Points	
Atelier reptiles PN-PS-CI	Reptile Data - Polygones	
IRD	EEE	
Habitats		
PS	MN_PS	
Géographie		
d'après MNT	Bassins versant	
d'après MNT	Pentes	
DITTT	Photos aériennes	à obtenir
DTSI	MNT	
DTSI	reseau hydrographique	
DTSI	Tribus	
DTSI	Géologie, 200k, 100k, 50k	
MODIS	Fire	
DITTT	Dolines	
Zonages et maitrise foncière		
	PPCE	à obtenir
PS	Aires protégées	
PS	AGDR	à obtenir
DITTT	Maitrise foncière	
VALE	Zones en protection	à obtenir
DIMENC	Cadastre minier	
Infrastructures		
DTSI	réseau routier	
VALE	infrastructures GORO	à obtenir
VALE	Seuils débits	à obtenir

Annexe 5 : Cartographie préliminaire des zones nodales potentielles



Annexe 6: Liste des nouvelles classes d'occupation du sol après regroupement

Sous-TRAME	CLASSES_CONT_ECO
ST_FORET	Forêt sur roches ultra-mafiques
ST_FORET	Forêt sur cuirasse
ST_FORET	Maquis paraforestier de talweg
ST_FORET	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i>
ST_FORET	Maquis paraforestier à <i>Arillastrum gummiferum</i>
ST_FORET	Maquis paraforestier rivulaire
ST_FORET	Maquis paraforestier
ST_FORET	Forêt à <i>Araucaria</i>
ST_FORET	Forêt à <i>Agathis</i>
ST_FORET	Forêt à <i>Arillastrum gummiferum</i>
ST_FORET	Forêt indéterminée
ST_FORET	Forêt sur alluvions, colluvions et dépôts
ST_FORET	Forêt sur calcaire récifal
ST_FORET	Forêt sur formation littorale
ST_FORET	Forêt sur formations volcano-sédimentaires
ST_FORET	Forêt sur roches acides
ST_FORET	Forêt sur roches ultra-mafiques
ST_FORET	Forêt sur cuirasse
ST_FORET	Forêt sur roches acides
ST_MAQUIS	Maquis ligno-herbacé des pentes érodées
ST_MAQUIS	Maquis ligno-herbacé de bas de pente et de piémonts
ST_MAQUIS	Maquis ouvert
ST_MAQUIS	Maquis à <i>Niaoulis</i> sur gabbros
ST_MAQUIS	Maquis à <i>Cordia</i> sur gabbros
ST_MAQUIS	Maquis ouvert et semi-ouvert à <i>Gymnostoma</i>
ST_MAQUIS	Maquis dense à <i>Gymnostoma</i>
ST_MAQUIS	Maquis
ST_MAQUIS	Maquis
ST_MAQUIS	Maquis fermé
ST_ZAH	Maquis sur sols hydromorphes
ST_ZAH	Maquis sur sols à hydromorphie temporaire
ST_ZAH	Zone humide à <i>Nioulis</i>
ST_ZAH	Marais
ST_ZAH	Eau
ST_ZAH	Zone humide à végétation dense, Forêt
ST_ZAH	Zone de fluctuation
ST_ZAH	Mangrove clairsemée et moyennement dense
ST_ZAH	Mangrove dense
ST_ZAH	Tanne, mangrove morte, convertie ou envasée
ST_ZAH	Végétation non inféodée à la mangrove ou indéterminée
MATRICE	Récif corallien
MATRICE	Savane
MATRICE	Autres formations arbustives
MATRICE	Zone anthropisées
MATRICE	Sol nu
MATRICE	Plantations et vergers
MATRICE	Indéterminée (Nuages+zones d'ombres)

Annexe 8 : Tableau Indices périmètre et aires

CODE MN	Continuité Écologiques	Aire Totale (Ha)	Aire Totale (Km)	Aire Moyenne (Ha)	Rapport (P/A)	# polygones
306	Forêt à Agathis	1.53	0.015	1.53	0.04	1
305	Forêt à Araucaria	4.66	0.047	4.66	0.02	1
420	Végétation non inféodée à la mangrove ou indéterminée	6.51	0.065	1.63	0.19	4
417	Tanne, mangrove morte, convertie ou envasée	14.41	0.144	0.80	0.13	18
112	Zone humide à végétation dense, Forêt	16.83	0.168	16.83	0.01	1
412	Mangrove clairsemée et moyennement dense	30.61	0.306	0.32	1.93	96
411	Mangrove dense	49.19	0.492	0.68	0.39	72
325	Forêt sur formation littorale	62.20	0.622	1.88	0.08	33
211	Maquis à Niaoulis sur gabbros	67.45	0.674	4.82	0.03	14
507	Récif corallien	88.64	0.886	0.17	10.40	514
324	Forêt sur calcaire récifal	95.54	0.955	0.68	2.95	141
113	Zone de fluctuation	114.31	1.143	0.47	3.53	242
326	Forêt sur formations volcano-sédimentaires	157.62	1.576	1.10	0.17	143
222	Maquis	176.84	1.768	17.68	0.03	10
930	Plantations et vergers	220.68	2.207	0.41	0.15	536
601	Savane	396.27	3.963	0.40	4.56	986
308	Forêt à Arillastrum gummiferum	545.15	5.452	12.11	0.03	45
602	Autres formations arbustives	566.02	5.660	0.53	5.29	1072
220	Maquis paraforestier rivulaire	639.52	6.395	7.03	0.04	91
931	Indéterminée (Nuages+zones d'ombres)	659.79	6.598	2.21	2.50	298
912	Zone anthropisées	734.74	7.347	0.65	4.75	1133
932	Eau	808.74	8.087	0.68	9.41	1194
213	Maquis ouvert et semi-ouvert à Gymnostoma	891.74	8.917	3.46	0.06	258
217	Maquis paraforestier à Arillastrum gummiferum	933.48	9.335	6.31	0.26	148
105	Zone humide à Nioulis	1206.05	12.060	15.66	0.16	77
387	Forêt sur roches acides	1308.23	13.082	7.70	0.49	170
321	Forêt sur alluvions, colluvions et dépôts	1671.72	16.717	1.95	0.36	856
212	Maquis à Codia sur gabbros	2043.76	20.438	26.54	0.17	77
333	Forêt sur cuirasse	2787.56	27.876	5.98	4.65	466
913	Sol nu	3090.25	30.903	0.90	6.90	3441
216	Maquis paraforestier à Gymnostoma deplancheanum	3248.88	32.489	6.56	0.04	495
207	Maquis ligno-herbacé de bas de pente et de piémonts	3915.64	39.156	13.89	0.76	282
206	Maquis paraforestier de talweg	4152.54	41.525	5.25	0.15	791
101	Maquis sur sols hydromorphes	4230.59	42.306	26.95	0.06	157
102	Maquis sur sols à hydromorphie temporaire	4441.79	44.418	16.76	0.29	265
107	Marais	4603.44	46.034	10.12	0.20	455
312	Forêt indéterminée	5235.73	52.357	8.74	0.08	599
240	Maquis ouvert	6473.50	64.735	1.86	0.22	3475
252	Maquis paraforestier	7944.42	79.444	1.78	2.07	4457
215	Maquis dense à Gymnostoma	9093.03	90.930	17.19	0.05	529
246	Maquis fermé	11429.68	114.297	2.31	0.67	4941
328	Forêt sur roches ultra-mafiques	17932.22	179.322	11.55	2.13	1553
205	Maquis ligno-herbacé des pentes érodées	22655.48	226.555	35.07	1.09	646

Légende des attributs :

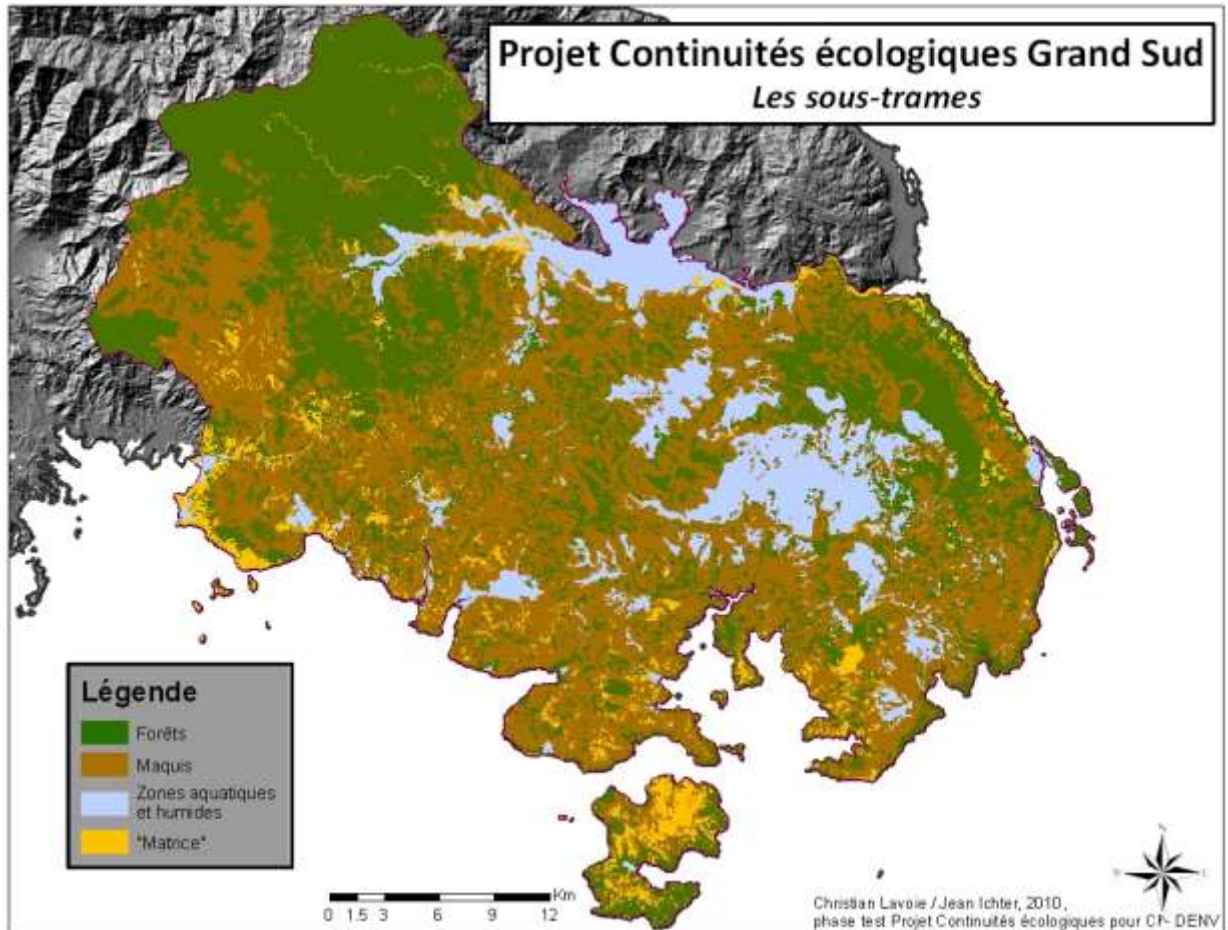
Code MN : Code milieux_naturels_province_sud

Continuité Écologiques : intitulés classe milieux naturels simplifiés (annexe 6)

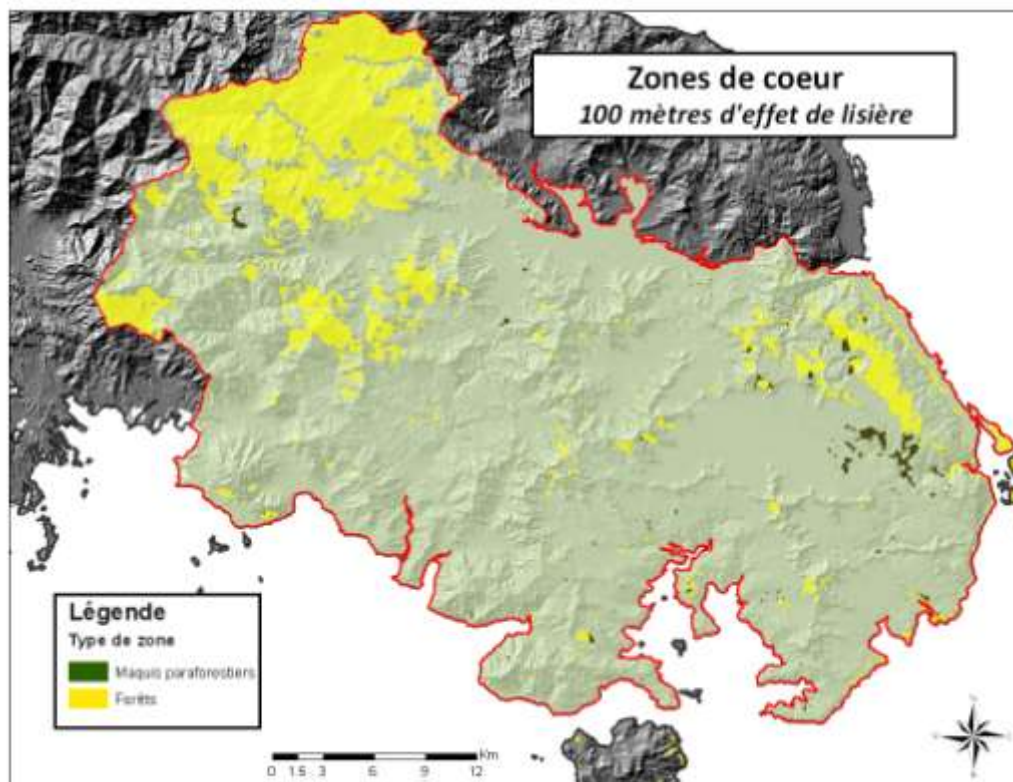
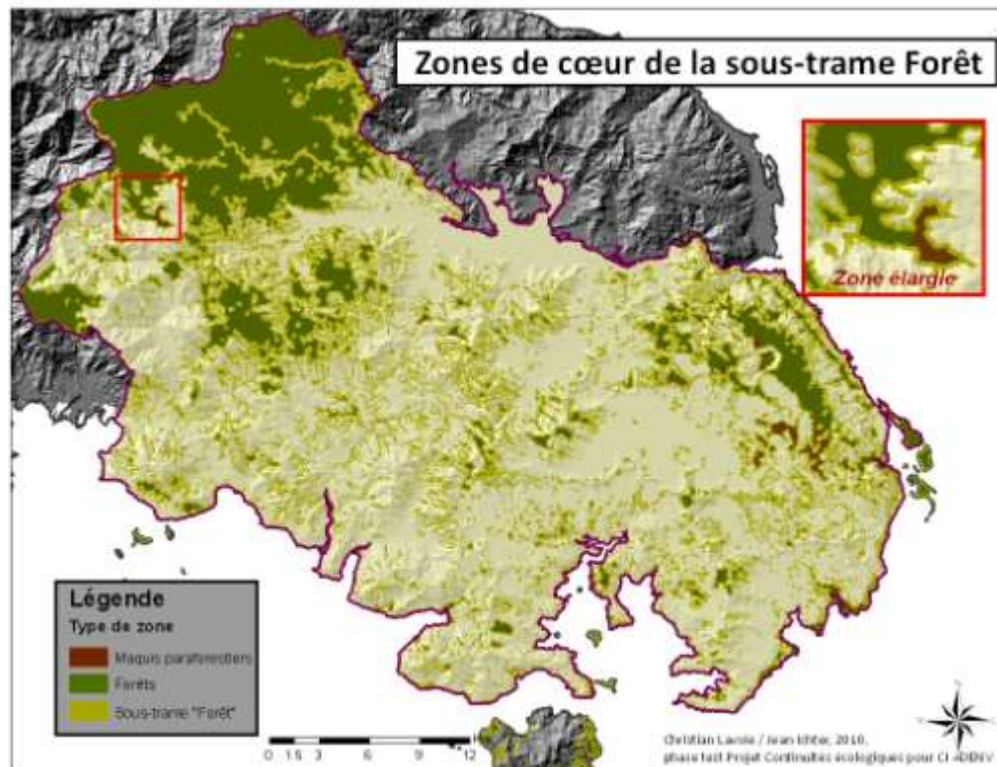
Rapport (P/A) : rapport périmètre sur aire

polygones : nombre de polygones

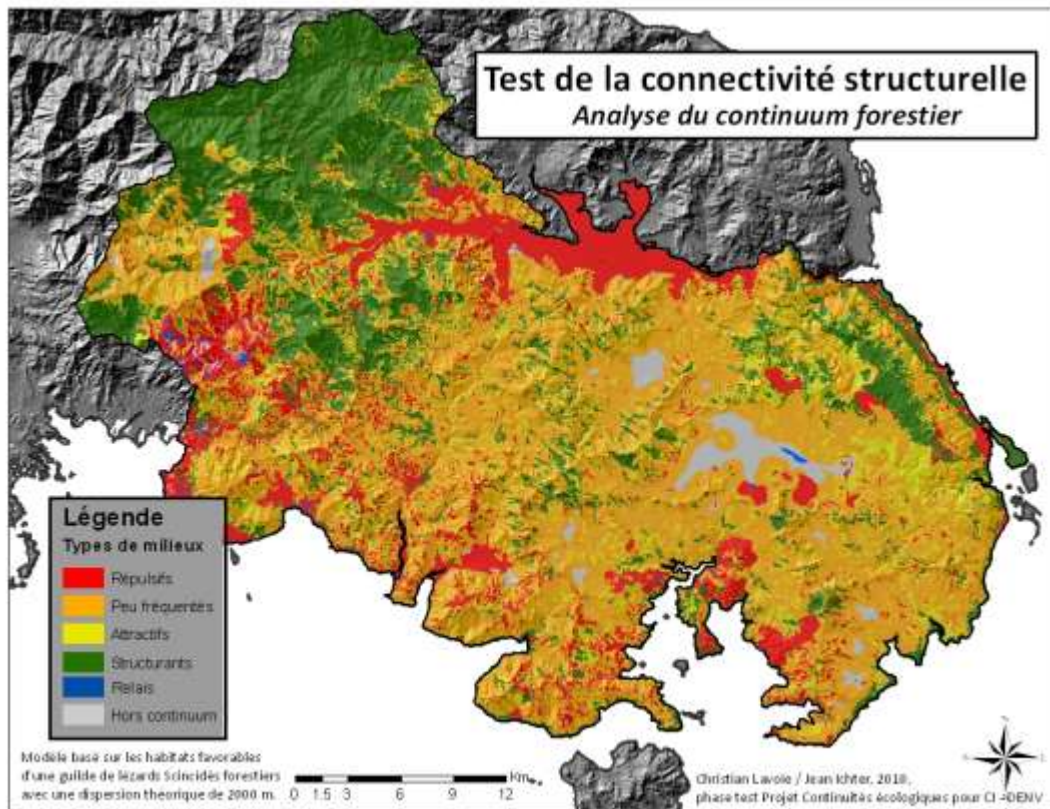
Annexe 8 : Cartographie des sous-trames



Annexe 9 : Zones de cœur de la sous-trame Forêt

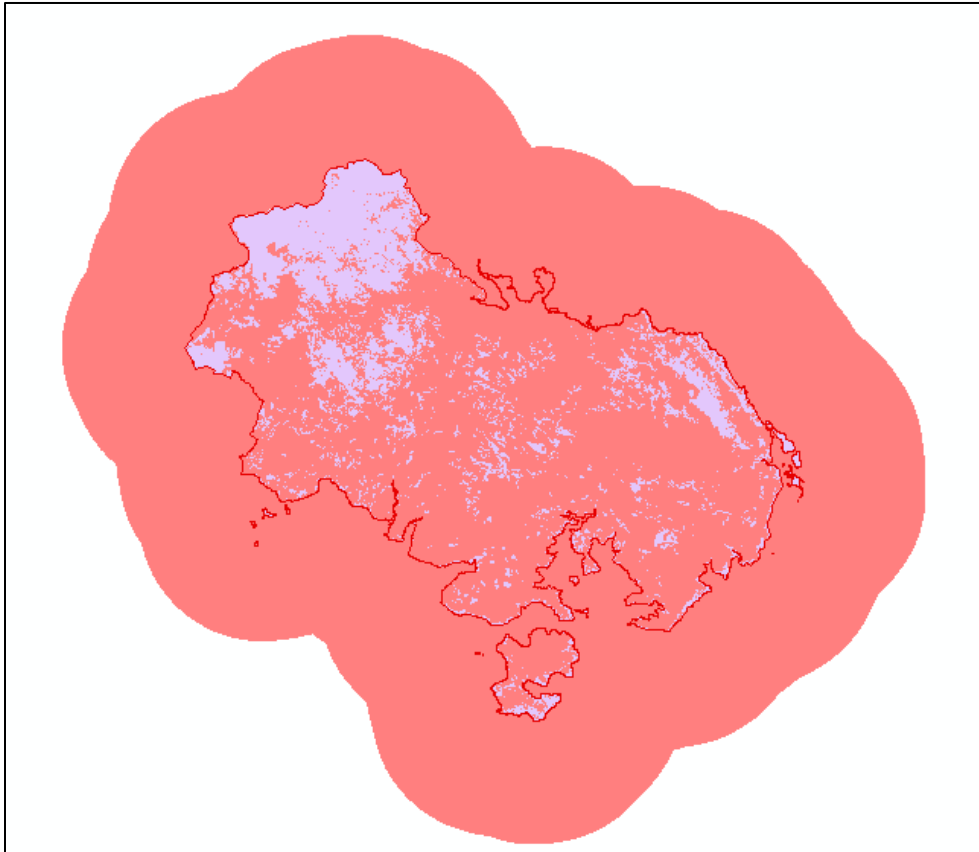


Annexe 10 : Tests de la caractérisation de la connectivité structurelle par l'analyse des continuums

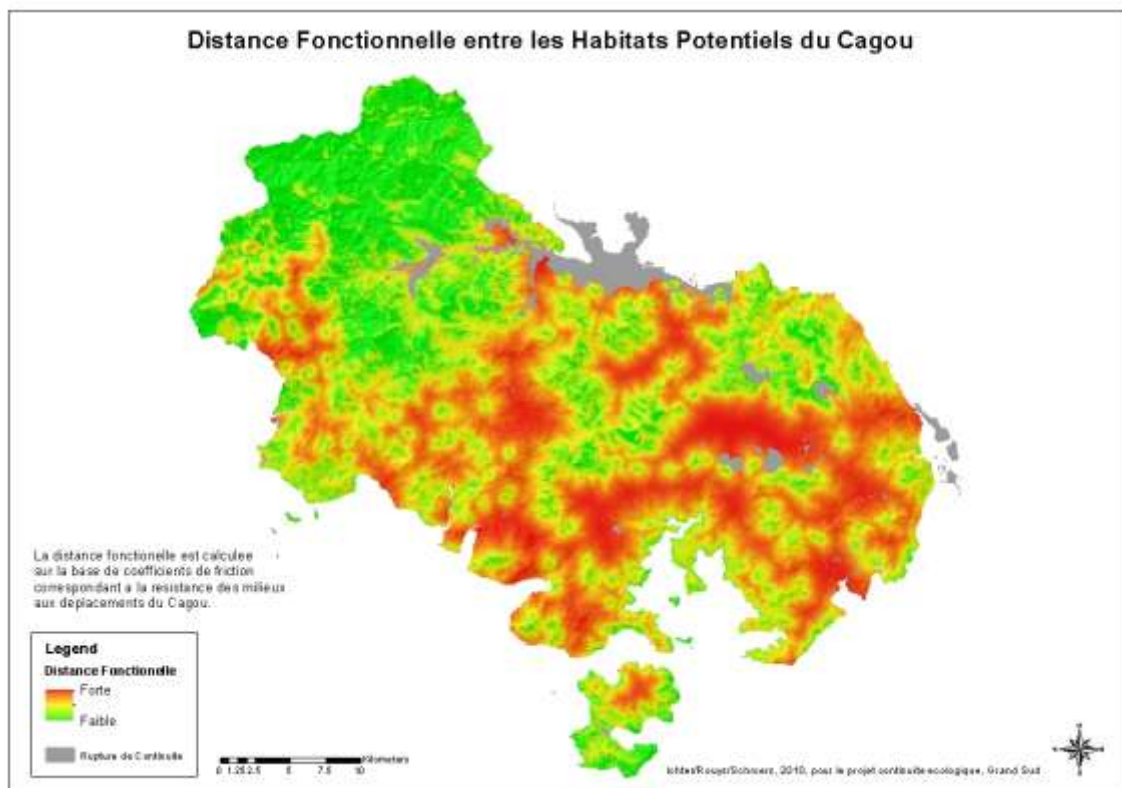
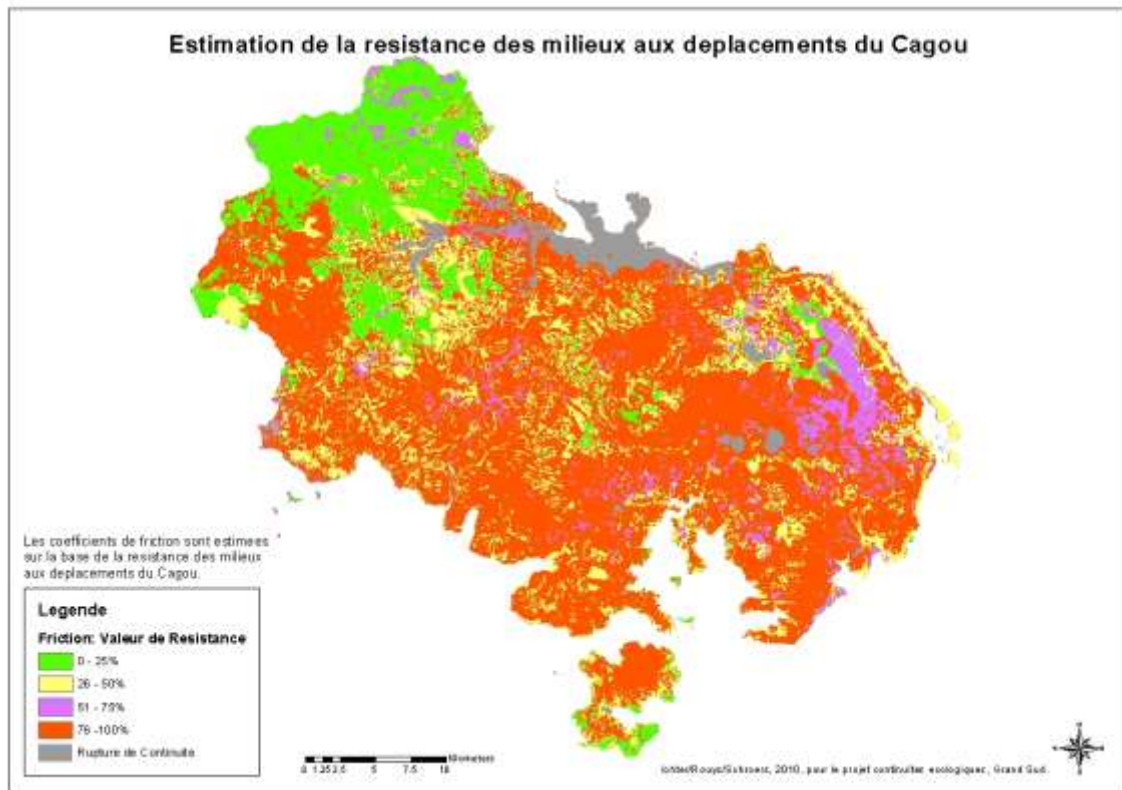


Application de la méthode d'analyse des continuums au notou

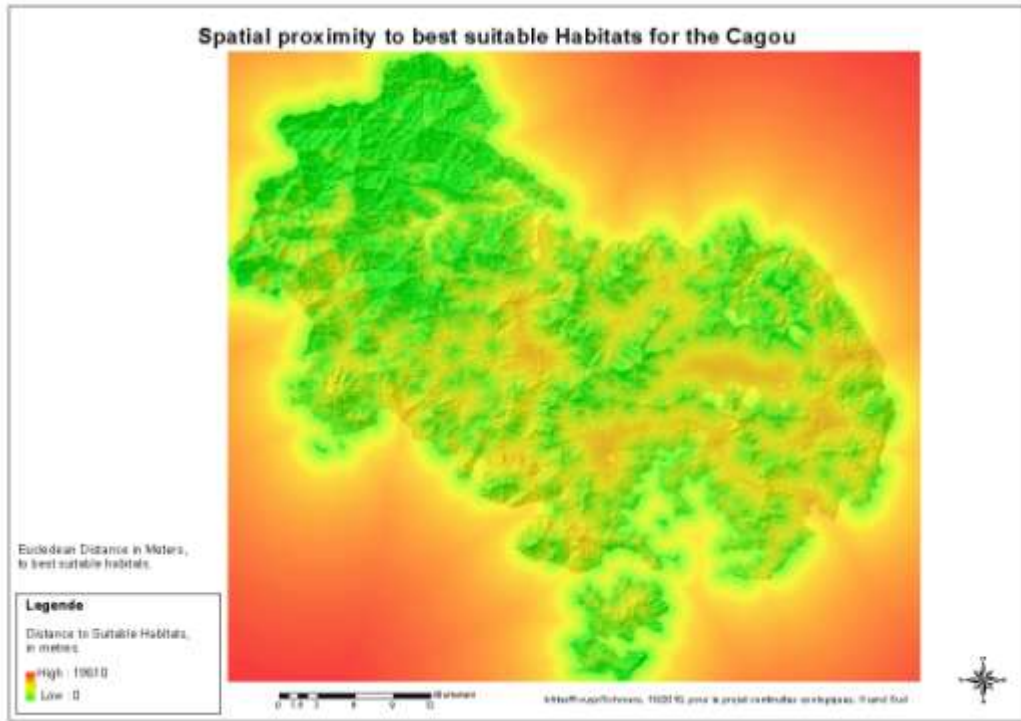
La matrice des types de milieux se base sur les connaissances disponibles en termes d'habitats et de dispersion (Letocart 1998). La zone tampon appliqué aux habitats favorables potentiels (polygones parme) est de 11 km (voir encadré 7). Les milieux structurants apparaissent en mauve.



Annexe 11 : Estimation de la distance fonctionnelle entre les habitats potentiels du Cagou



Distance euclidienne entre les habitats potentiels du Cagou



Annexe 12 : Cartographie des zones dégradées

