



Pacific
Community
Communauté
du Pacifique

RESCCUE

STRATEGIE POUR LA RESTAURATION ECOLOGIQUE DES SITES DEGRADEES DU GRAND SUD

PROVINCE SUD DE NOUVELLE-CALEDONIE



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL

L'Opérateur RESCCUE en province Sud de Nouvelle-Calédonie consiste en un groupement de quatre entreprises partenaires :

Bioeko
Yannick Dominique, Coordinateur technique
ydominique@bioeko.nc

Vertigo Lab
Thomas Binet
Thomas.binet@vertigolab.eu



ONFI
Quentin Delvienne
quentin.delvienne@onfinternational.org



Matthieu Wemaere / Avocat
Matthieu Wemaere
matthieu.wemaere@gmail.com

Version	Date d'envoi	Rédacteur Principal/Contributeur (s)
Version 1 envoyée à la pS et CPS	04/03/2019	Quentin Delvienne (ONFI), Julien Demenois (ONFI), Yann Queffelec (ONFI), Cédric Lardeux (ONFI) et Yannick Dominique (Bioeko)
Commentaires de la CPS	08/03/2019	Jean-Baptiste Marre (CPS)
Version 2 envoyée à la pS et CPS	08/04/2019	Quentin Delvienne (ONFI), Cédric Lardeux (ONFI) et Yannick Dominique (Bioeko)
Version définitive envoyée à la pS et CPS	15/04/19	Quentin Delvienne (ONFI), Cédric Lardeux (ONFI) et Yannick Dominique (Bioeko)

Rappel des objectifs et composantes du projet

Le projet RESCCUE (Restauration des services écosystémiques et adaptation au changement climatique), coordonné par la Communauté du Pacifique (CPS), vise à contribuer à accroître la résilience des pays et territoires insulaires du Pacifique face aux changements globaux par la mise en œuvre d'une gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Il prévoit notamment de développer des mécanismes de financement innovants pour assurer la pérennité économique et financière des activités entreprises. Ce projet régional opère sur un à deux sites pilotes dans chacun des pays et territoires suivants : Fidji, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française et Vanuatu.

RESCCUE est financé principalement par l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM), pour une durée de cinq ans et demi (01/01/2014 - 30/06/2019). La CPS bénéficie d'un financement total de 8,5 millions d'Euros : une subvention de l'AFD octroyée en deux tranches (2013 et 2017 à hauteur de 2 et 4,5 millions d'Euros respectivement), et une subvention du FFEM de 2 millions d'Euros. Le projet RESCCUE fait en complément l'objet de cofinancements. Sa maîtrise d'ouvrage est assurée par la CPS, assistée par les gouvernements et administrations des pays et territoires concernés.

Le site pilote du « Grand Sud » est un des deux sites ateliers retenus pour ce projet en Nouvelle-Calédonie. La maîtrise d'ouvrage est assurée par la CPS, assistée de la province Sud. La maîtrise d'œuvre est quant à elle assurée par le consortium Bio eKo Consultants, Vertigo Lab et ONF international.

RESCCUE est structuré en cinq composantes :

Composante 1 - Gestion intégrée des zones côtières : Il s'agit de soutenir la mise en œuvre de la GIZC « de la crête au tombant » à travers l'élaboration de plans de GIZC, la mise en place de comités ad hoc, le déploiement d'activités concrètes de terrain tant dans les domaines terrestres que marins, le renforcement des capacités et le développement d'activités alternatives génératrices de revenus.

Composante 2 - Analyses économiques : Cette composante soutient l'utilisation d'une large variété d'analyses économiques visant d'une part à quantifier les coûts et bénéfices économiques liés aux activités de GIZC, d'autre part à appuyer diverses mesures de gestion, politiques publiques et mises en place de mécanismes économiques et financiers.

Composante 3 - Mécanismes économiques et financiers : Il s'agit de soutenir la mise en place de mécanismes économiques et financiers pérennes et additionnels pour la mise en œuvre de la GIZC : identification des options possibles (paiements pour services écosystémiques, redevances, taxes, fonds fiduciaires, marchés de quotas, compensation, certification...) ; études de faisabilité ; mise en place ; suivi, etc.

Composante 4 - Communication, capitalisation et dissémination des résultats du projet dans le Pacifique : Cette composante permet de dépasser le cadre des sites pilotes pour avoir des impacts aux niveaux national et régional, en favorisant les échanges d'expérience entre sites du projet, les expertises transversales, la dissémination des résultats en particulier au cours d'événements à destination des décideurs régionaux, etc.

Composante 5 - Gestion du projet : Cette composante fournit les moyens d'assurer la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre du projet, l'organisation des réunions des comités de pilotage, des évaluations et audits, etc.

Ce livrable est un des produits de la composante 1 du projet RESCCUE, il porte sur l'adoption d'une approche consensuelle de priorisation de la restauration des sites dégradés pour le Grand Sud et contribue à la réflexion méthodologique pour son extension dans le cadre d'une stratégie provinciale.

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	V
RESUME EXECUTIF	1
CHAPITRE 1 CONTEXTE DU DEVELOPPEMENT D'UNE STRATEGIE PROVINCIALE EN MATIERE RESTAURATION ECOLOGIQUE DES SITES DEGRADEES.....	5
CHAPITRE 2 OBJECTIFS DE LA STRATEGIE DE RESTAURATION POUR LE GRAND SUD.....	8
CHAPITRE 3 RETROSPECTIVE DES OPERATIONS ET TECHNIQUES DE RESTAURATION	9
1 BILAN DES OPERATIONS DE RESTAURATION A L'ECHELLE DU GRAND SUD	9
1.1 SURFACE RESTAUREE	9
1.2 ACTEURS IMPLIQUES	11
1.3 TECHNIQUES UTILISEES	13
1.4 PROGRAMMES DE RESTAURATION ET GRILLES MULTICRITERES UTILISEES.....	17
2 RETOUR SUR LES PRATIQUES DE RESTAURATION	19
2.1 DIAGNOSTIC PREALABLE A LA MISE EN ŒUVRE DE MESURES DE RESTAURATION.....	19
2.2 TECHNIQUES DE GENIE CIVIL ET DE GENIE ECOLOGIQUE	21
CHAPITRE 4 METHODOLOGIE DE PRIORISATION DES SITES DEGRADEES POUR LA RESTAURATION ECOLOGIQUE.....	32
1 APPROCHE GENERALE	32
2 ADOPTION D'UNE DEFINITION DES ZONES DEGRADEES	33
3 EVALUATION DU RISQUE NATUREL	35
3.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « EROSION » :	35
3.2 CARTOGRAPHIE DES ENJEUX	37
3.3 ANALYSE DU RISQUE « EROSION »	40
3.4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION D'UN POINT DE VUE DE LA LUTTE CONTRE L'EROSION	40
4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION D'UN POINT DE VUE DE LA CONNECTIVITE ECOLOGIQUE .	40
5 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION CROISEE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	41
6 LIMITES DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE ET PISTES DE REFLEXION.....	42
CHAPITRE 5 RESULTATS DE LA PRIORISATION DES SITES A RESTAURER POUR LE GRAND SUD	44
1 CARTOGRAPHIE DES SITES DEGRADEES DU GRAND SUD	44
2 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION DU POINT DE VUE DE L'EROSION ET DES ENJEUX DE TERRITOIRE.....	45
2.1 CARTOGRAPHIE DES ENJEUX DU GRAND SUD	45
2.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EROSION DANS LE GRAND SUD	46
2.3 CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'EROSION AU REGARD DES ENJEUX DU TERRITOIRE.....	47
2.4 PRIORISATION DES SITES DEGRADEES A TRAITER D'UN POINT DU VUE DU RISQUE EROSIF.....	48
3 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION DU POINT DE VUE DE LA FRAGMENTATION ECOLOGIQUE	49

4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION CONJUGUANT L'ASPECT « LUTTE CONTRE L'ÉROSION » ET « LIMITATION DE LA FRAGMENTATION DES MILIEUX »	50
CHAPITRE 6 ÉTAPES ET OUTILS NECESSAIRES A L'OPERATIONNALISATION DE LA STRATEGIE.....	52
1 PREREQUIS A L'OPERATIONNALISATION DE LA STRATEGIE DE RESTAURATION DES SITES DEGRADES	52
1.1 CADRE DE MISE EN ŒUVRE	52
1.2 CREATION D'UN CATALOGUE DE ZIP ET D'UN PORTEFEUILLE DE SITES A RESTAURER.....	53
2 ÉLÉMENTS POUR L'OPERATIONNALISATION DE LA STRATEGIE	56
2.1 DEFINIR DES OBJECTIFS DE RESTAURATION	56
2.2 MOBILISATION DES MOYENS	57
2.3 LA QUESTION DE L'INTEGRATION DE MESURES SYLVICOLES DANS LA RESTAURATION DES SITES DEGRADES.....	58
2.4 DEVELOPPEMENT D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE	58
2.5 VALORISATION ET MISE EN PLACE D'UN SITE ECOLE	59
2.6 MODALITES DE SUIVI DES SITES.....	59
CHAPITRE 7 RECOMMANDATIONS GENERALES POUR LE CHOIX DES TECHNIQUES DE RESTAURATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION.....	60
CHAPITRE 8 CONCLUSION	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES :	64
1 ANNEXE 1 : CR DES COTECH	65
2 ANNEXE 2 : EXEMPLE DE GRILLE MULTICRITERES	66
3 ANNEXE 3 : FICHES SYNTHETIQUES OPERATIONS	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
4 ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUES GENIE CIVIL.....	70
5 ANNEXE 5 : DETAILS DU TRAITEMENT CARTOGRAPHIQUE	83

Liste des abréviations et acronymes

CNRT	Centre National de Recherche Technologique sur le nickel et son environnement
CPS	Secrétariat général de la Communauté du Pacifique
CR	en danger Critique d'extinction
CRSM	Comités de Réhabilitation des Sites Miniers
CTFT	Centre Technique Forestier Tropical
DDR	Direction du Développement rural de la PS
EN	En danger
KBA	zones clés de biodiversité
NC	Nouvelle Calédonie
NP	Priorité Nationale
ONFI	ONF International (bureau d'études, faisant partie de l'opérateur RESCCUE)
PPE	Périmètre de Protection Eloignée
PS	Province Sud
RR	Répartition limitée
RTM	Restauration des Terrains en Montagne
SAEM	Société Anonyme d'Economie Mixte
SLN	Société Le Nickel
VALE-NC	Société d'exploitation minière
VU	Vulnérable

Résumé Exécutif

La principale pression qui semble peser actuellement sur le site pilote du projet RESCCUE du grand Sud de Nouvelle-Calédonie est l'érosion des sols des sites dégradés par les activités anciennes (exploitation minière et forestière). Ces activités ont engendré une modification des paysages et laissé de nombreuses cicatrices qui impactent encore aujourd'hui les cours d'eau et le lagon lors des fortes pluies. Outre l'érosion des sols, la fragmentation forestière engendrée par ces anciennes activités a enclenché une dynamique de régression du couvert forestier, dynamique encore active aujourd'hui, selon les scientifiques. L'ensemble de ces cicatrices et leurs conséquences sur la biodiversité et les services rendus par celle-ci aux populations locales, impactent également le degré de vulnérabilité de ces populations aux aléas climatiques actuels et futurs.

Ce contexte décrit ci-dessus pour le grand Sud, à quelques détails près, reflète de manière assez fidèle l'état de l'ensemble du territoire provincial, où la présence de sites dégradés constitue aujourd'hui une menace tant pour les biens et les personnes, que pour la biodiversité et les services qu'elle rend aux populations locales.

Depuis quelques années, l'exécutif provincial a pris conscience de l'importance d'établir une stratégie relative à la restauration écologique de ces sites, afin d'être en mesure de planifier à court, moyen et long terme, les actions à mettre en œuvre pour limiter voire stopper l'impact des zones dégradées sur les biens et personnes, mais également sur la biodiversité et les services qu'elle rend.

Il a donc été constitué un groupe technique de travail notamment composé des services compétents en la matière de la province Sud (DDR et DENV), ainsi que des services du gouvernement (DAVAR, DIMENC) et du Fonds Nickel. Ce groupe est piloté par le Service des Installations Classées, de l'impact environnemental et des déchets (SICIED) de la Direction de l'Environnement de la province Sud dont le rôle est d'apporter une animation et coordination nécessaires à l'émergence de cette stratégie. Les comptes rendus validés des réunions de ce COTECH sont annexés à ce document (annexe 1 : CR du COTECH du 30/03/2017, CR du COTECH du 10/10/2017, CR du COTECH du 24/04/2018)

Dans l'optique d'élaborer une stratégie provinciale en matière de restauration des sites dégradés, la province Sud (pS), à travers le SICIED, a sollicité un accompagnement du projet RESCCUE pour développer la réflexion méthodologique de priorisation d'une restauration écologique des sites dégradés prenant en compte les enjeux locaux, la problématique de l'érosion et de conservation de la biodiversité. Pour ce faire, la pS a confié à l'opérateur RESCCUE la charge de travailler sur l'élaboration d'une stratégie de restauration écologique pour le grand Sud qui pourrait ensuite être étendue à l'ensemble du territoire provincial.

Cette stratégie exposée dans le présent document s'articule autour de sept chapitres :

- Le premier présente le contexte du développement d'une stratégie provinciale en matière de restauration des sites dégradés,
- Le second clarifie les objectifs de la stratégie pour le grand Sud,
- Le troisième dresse un bilan des actions et initiatives existantes en termes de restauration des sites dégradés ;
- Le quatrième propose une méthodologie de priorisation des sites à restaurer, intégrant la définition de « sites dégradés » d'un point de vue de la dynamique naturelle des écosystèmes ;
- Le cinquième expose les résultats de la priorisation ;
- Le sixième présente les actions nécessaires à l'opérationnalisation de la stratégie ;
- Le dernier fournit des recommandations générales sur les techniques à promouvoir.

Objectifs de la stratégie de restauration écologique pour le grand Sud :

En concertation avec le groupe technique de travail, les deux objectifs généraux de la stratégie ont pu être clairement identifiés. Ces objectifs sont :

- OG 1 : Les phénomènes d'érosion sont limités à l'échelle du grand Sud hors zones minières en activité ;

- OG 2 : La perte de biodiversité est limitée à l'échelle du grand Sud hors zones minières en activité.

Rappelons que ce sont des objectifs généraux et que la stratégie apporte une contribution comme d'autres outils à l'atteinte de ceux-ci. L'objectif spécifique (OS) de la stratégie est de définir, sur base d'une réflexion cartographique, les espaces qui méritent d'être prioritairement restaurés par les acteurs du territoire et de prévoir les actions nécessaires à une opérationnalisation de la restauration des sites pré-identifiés.

Bilan de l'existant :

Le bilan qui a pu être établi lors de l'élaboration de cette stratégie met en lumière :

- que seul un très faible pourcentage des surfaces dégradées a fait l'objet d'actions de restauration dans le grand Sud. Ce dernier est estimé à moins de 1% de la surface à traiter (voir le chapitre 4 pour la définition d'un « site dégradé » et le chapitre 5 pour ce qui est des surfaces à considérer dans la priorisation).
- un déficit de bancarisation des données relatives aux actions de restauration et l'absence d'un format identique utilisé, rendant particulièrement difficile la réalisation d'un tel bilan.

Concernant les techniques utilisées jusqu'à présent en matière de restauration des surfaces dégradées dans le grand Sud, elles se répartissent entre :

- des techniques relatives à la gestion des eaux de ruissellement (reprofilage des pentes, créations d'ouvrages de décantation, de cassis,...), qui permettent de contrôler les écoulements et limiter le transport solide vers les cours d'eau et/ou lagon ;
- des techniques de revégétalisation qui consistent soit :
 - en des plantations en plein, surtout aux abords des pistes, en utilisant depuis les années 2000 des plants endémiques ou autochtones à l'archipel ;
 - des semis hydrauliques utilisés sur les verses et les talus avec un mélange d'espèces exotiques et endémiques ou autochtones.

Globalement le taux de réussite des chantiers de restauration écologique menés ces 30 dernières années est faible (cf. rapport final du projet RECONSYNTH). Il a également été mis en évidence par ce projet que l'utilisation d'un corpus de « bonnes pratiques » (décompactage des sols en amont de la plantation, utilisation d'un top-soil de bonne qualité, ...), permet d'augmenter la probabilité de succès de l'opération de restauration et ainsi d'obtenir des bons résultats.

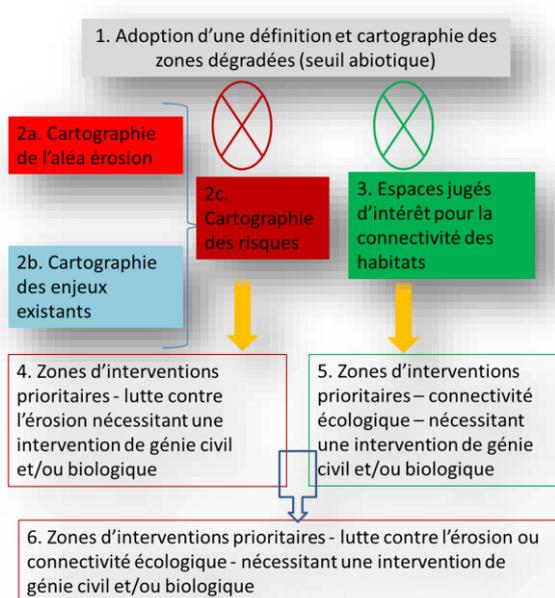
Méthodologie de priorisation des sites dégradés et résultats :

La première étape de l'élaboration de cette méthodologie a été de proposer une définition claire de la notion de sites dégradés. Sur la base des travaux développés ces deux dernières années sur les milieux ultramaïques calédoniens, la notion de site dégradé a été définie comme l'ensemble des sites où :

- le sol est à nu (aucune végétation),
- la couverture végétale au sol ne dépasse pas 30%. En effet il a été montré que les effets négatifs sur la germination des plantes dus à la compaction des sols liée à l'effet « splash » des gouttes de pluie, ainsi que l'entraînement des particules de sol sont fortement réduits dès que la couverture végétale dépasse 30% de la surface totale de la parcelle.

Sur la base de cette définition une analyse cartographique menée à l'échelle du grand Sud a permis d'identifier 17 615 ha de zones dégradées, soit 13,5% de la surface du site pilote (cf. carte n°23, p44). Une fois déduit les zones où aucune restauration n'est envisageable (routes et pistes entretenues, zones minières ou industrielle en activité), cette surface passe à 13 762 ha soit 10,5% de la surface totale du site pilote.

Afin de répondre aux objectifs de la présente stratégie (cf. §2 ci-dessus), il a été proposé une approche méthodologique scindée en deux parties pour prioriser les besoins d'intervention au droit des différentes zones dégradées. Cette approche est synthétisée dans la figure ci-dessous.



Cette approche permet de considérer de manière séparée le risque « érosion » et le risque « fragmentation écologique ». Cela à l'avantage (i) : de ne pas favoriser un de ces deux risques par rapport à l'autre (chacun est traité, évitant ainsi la mise en débat des réflexions relatives à l'importance de la gestion de la biodiversité par rapport à la problématique d'érosion des sols), (ii) de conserver une approche sectorielle d'importance d'un point de vue purement institutionnel, tout en conservant une capacité de prioriser en croisant les intérêts des secteurs.

Pour chacun des axes de cette approche l'évaluation du risque a reposé sur un croisement entre les enjeux et l'aléa propres à chacune des thématiques (érosion et fragmentation).

Appliquée au site pilote du grand Sud, cette méthodologie a permis de spatialiser le risque « érosion » et d'identifier à l'échelle des sites dégradés où une restauration est envisageable (cf. carte n°27, p48) :

- 44% de surfaces classées en risque « très faible »,
- 16% de surfaces classées en risque « faible »,
- 14% de surfaces classées en risque « moyen »,
- 4% de surfaces classées en risque « fort ».

Pour les surfaces présentant un risque d'érosion de niveau faible à moyen, surface qui recouvre près de la moitié des sites dégradés où une restauration est envisageable, il peut être considéré qu'il n'y aura pas nécessité d'entrevoir d'actions de restauration des milieux sur ces espaces.

En parallèle le risque « fragmentation » a été caractérisé et spatialisé (cf. carte n°28, p49). Les enjeux de biodiversité liés à la « fragmentation écologique » ont été identifiés à l'aide de la cartographie des connectivités écologiques élaborée dans le cadre du projet RESCCUE (Livrable L5.2). Il a été ainsi identifié que 43,4% des sites dégradés où une restauration était possible avaient un effet fragmentant sur l'une ou l'autre des sous trames des écosystèmes composant les paysages du grand Sud. Cet effet fragmentant joue à hauteur de 97% sur les réservoirs de biodiversité et uniquement à hauteur de 3% sur les corridors écologiques.

In-fine le croisement des résultats obtenus pour le risque « érosion » et le risque « fragmentation », a permis une priorisation croisée des besoins en restauration des 13 762 ha de sites dégradés (cf. carte n°29, p50). Il ressort de ce croisement que :

- 1% présentant un risque érosif fort, avec risque de fragmentation écologique,
- 5% présentant un risque érosif moyen, avec risque de fragmentation écologique,

- 17% présentant un risque érosif moyen ou fort, sans risque de fragmentation écologique,
- 36% présentant un risque érosif faible ou très faible, avec risque de fragmentation écologique,
- 41% présentant un risque érosif faible ou très faible, sans risque de fragmentation.

Actions nécessaires à l'opérationnalisation de la stratégie :

La priorisation des sites dégradés n'est qu'une première étape en vue de leur restauration future et celle-ci ne pourra être mise en œuvre que si les prérequis et outils nécessaires à l'opérationnalisation de la présente stratégie sont mis en place.

Les différents prérequis et outils nécessaires sont :

- la présence d'un cadre institutionnel favorable à la mise en œuvre avec notamment une volonté politique forte d'avancer vers la restauration de ces sites, ce qui est le cas actuellement en province Sud où la demande de disposer d'une stratégie émane directement de l'exécutif provincial,
- la création d'un catalogue des zones d'intervention prioritaires (ZIP). Une démarche est proposée au sein de la présente stratégie pour la création de ce catalogue,
- la définition des objectifs de restauration dans le temps (premier quinquennat de la stratégie, second quinquennat,...),
- la structuration des moyens nécessaires à la restauration :
 - moyen humains matériels (pépinières, entreprises de génie biologique,...),
 - moyens financiers
- la clarification du rôle de la sylviculture en tant qu'opération de restauration des sites dégradés,
- le développement de référentiels des différentes techniques de restauration afin d'homogénéiser les processus de restauration. A ce titre des chantiers écoles sont d'ores et déjà en cours à l'échelle de la province et pourraient demain être valorisés pour la formation des différents acteurs,
- la mise en place de modalités de suivi des sites afin de s'assurer de la bonne conduite des opérations.

Chapitre 1 Contexte du développement d'une stratégie provinciale en matière restauration écologique des sites dégradés

Le site pilote du « grand Sud » - désigné grand Sud dans la suite du document par soucis de lisibilité - ciblé par le projet RESCCUE en province Sud correspond à l'extrême Sud de la Grande Terre de l'archipel de la Nouvelle-Calédonie. Il englobe une grande partie de la commune de Yaté ainsi que la partie Est et Sud de la commune du Mont-Dore y compris l'île Ouen (Figure 1). Sa superficie est de 2 040 km², soit 204 000 ha.

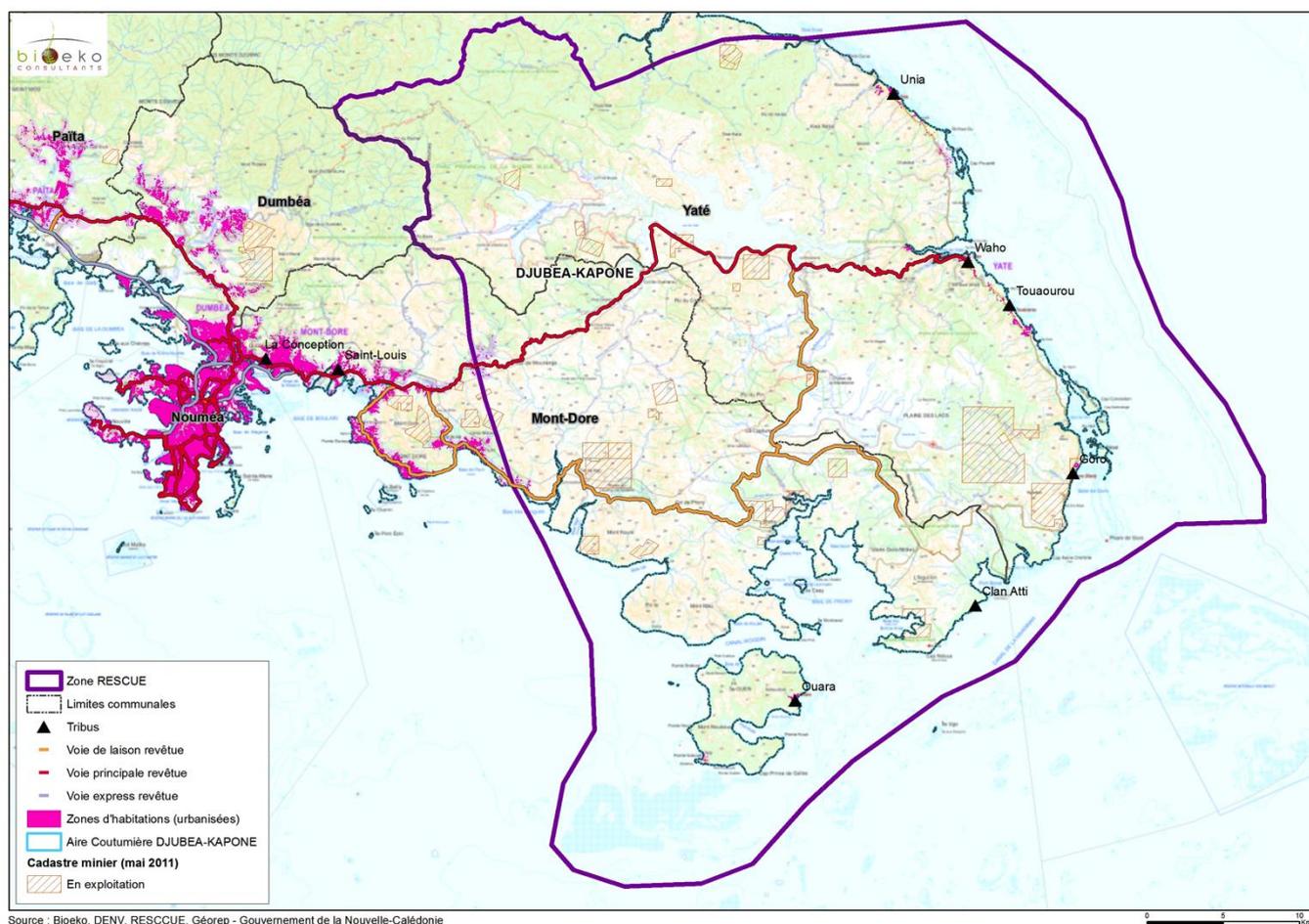


Figure 1. Situation du site pilote du grand Sud

L'état initial du grand Sud, dressé dans le cadre du projet RESCCUE, faisait ressortir différents types de pressions, passées ou présentes. Celles-ci pèsent aujourd'hui sur les milieux naturels de la zone et peuvent induire la mise en œuvre d'activités de restauration écologique.

La restauration écologique vise à recréer à terme un écosystème de composition et de structure proche de celui existant avant tout type d'exploitation, en particulier pour sa biodiversité végétale et animale. En réalité, l'objectif est double : il s'agit de contribuer le plus efficacement possible à la reconquête de la biodiversité tout en assurant une résilience maximale à l'ensemble de la surface traitée face aux phénomènes d'érosion (la maîtrise de l'érosion étant un facteur déterminant de la durabilité d'un effort de végétalisation et donc de son efficacité).

Les pressions identifiées sur le Grand Sud sont :

- **L'exploitation forestière** : dès la fin des années 1800 jusqu'au début des années 1980, les massifs forestiers du grand Sud ont fait l'objet d'exploitation. Actuellement, plus aucune exploitation de la forêt n'est réalisée

dans le Grand Sud. L'exploitation forestière passée a largement modifié le paysage originel du Grand Sud. Des larges massifs forestiers qui recouvraient une grande partie de la zone, il ne reste aujourd'hui que quelques fragments isolés et de larges zones dégradées. Ces cicatrices laissées par ces pressions du passé, impactent encore lors des fortes pluies, la biodiversité exceptionnelle du site et les services qu'elle rend aux populations, au travers des processus de lessivage et d'érosion des sols ainsi que leurs effets sur les bassins versants et le lagon.

- La **sylviculture** : parallèlement à l'exploitation forestière, la sylviculture s'est développée dans le milieu des années 1900. A l'époque cette filière était essentiellement basée sur l'utilisation du Pin des Caraïbes (*Pinus caribaea*). Plusieurs plantations sont situées dans le grand Sud (ex. : Plaine du champ de Bataille, la Madeleine, Netcha et Ouenarou). La forte capacité du Pin des Caraïbes à s'installer très rapidement en milieu ouvert et en lisière de forêt, à partir de ces plantations, induit un risque élevé d'invasion des milieux naturels et de perte de biodiversité ;
- L'**exploitation minière** : comme l'exploitation forestière, les premières exploitations minières, à travers l'utilisation du feu pour faciliter leur installation et leur travail, ont fortement contribué à modifier le paysage originel de ce territoire. Par le passé, différentes opérations minières ont été conduites dans cette région (ex.: mine de fer de Prony entre 1956 et 1968). Aujourd'hui, 34 % de la surface du grand Sud est affecté en concession minière. Toutefois, un seul site minier est actuellement en exploitation, celui de Vale-NC qui occupe 4 % de la superficie du grand Sud. Du fait des défrichements nécessaires à l'exploitation minière, Vale-NC mets en œuvre des techniques ayant pour objectif de limiter les effets de l'érosion et de la fragmentation des habitats sur le milieu environnant. Notons que le site métallurgique fait également peser un risque de pollution industrielle sur la biodiversité et les habitats ;
- Le **tourisme** : La région du grand Sud possède des atouts naturels propices au développement des loisirs de pleins airs. Sa proximité avec le Grand Nouméa, principal bassin de population du territoire, lui confère un positionnement clé pour offrir aux citadins une escapade « nature » et « famille » dont les principales valeurs sont la découverte, le plaisir et le bien être via le sport (source : TNS, 2013). Le grand Sud reçoit autour de 50 000 visites par an (hors randonneurs pédestres ou en VTT). Le développement de l'activité touristique pourrait constituer également une nouvelle menace pour le grand Sud, essentiellement à travers le risque de feux de brousse ;
- Le **feu** : les incendies à répétition qui ont touché le Grand Sud sont à l'origine de la disparition d'une grande partie du couvert forestier (Mc Coy et al., 1999). S'il est aujourd'hui avéré que des incendies ont touché le grand Sud avant l'arrivée des hommes sur l'archipel (Hope, 1996 ; Hope & Paske, 1998), leur faible fréquence permettait à la forêt humide de se régénérer. C'est à partir des années 1870, que l'occurrence des feux a fortement augmenté avec le début des prospections minières et l'exploitation forestière (Chevalier, 1996 ; Jaffré, 1980). Cette recrudescence des incendies d'origine anthropique, a perturbé la dynamique végétale naturelle post-incendie et conduit à une « secondarisation » des paysages du Grand Sud (Mc Coy et al., 1999). Aujourd'hui, bien que le grand Sud ne soit pas la région calédonienne la plus touchée par les feux de brousse, les feux constituent une pression sur les milieux naturels, comme en atteste l'incendie du creek Pernod survenu en janvier 2013 ;
- Les espèces envahissantes : certaines espèces envahissantes qui ne s'étaient que peu introduites dans le grand Sud certainement du fait d'un contexte ultramafique peu favorable, commencent à voir leur population croître. Outre le Pin des Caraïbes mentionné plus haut, les populations de Yaté témoignent en effet d'une augmentation des cerfs et cochons depuis quelques années (Bernard et al., 2014). Si ces espèces ont un effet néfaste sur les cultures des habitants, elles contribuent également à la détérioration du couvert sous-forestier, accentuant ainsi l'érosion des sols et la perte de biodiversité.

Aujourd'hui la principale pression qui semble peser sur le grand Sud est l'érosion des sols des sites dégradés par les activités anciennes (mine et exploitation forestière). Ces activités ont engendré une modification des paysages et laissé de nombreuses cicatrices qui impactent encore aujourd'hui les cours d'eau et le lagon lors des fortes pluies. Outre l'érosion des sols, la fragmentation forestière engendrée par ces anciennes activités a enclenché une dynamique de régression du couvert forestier, dynamique encore active aujourd'hui, selon les scientifiques.

Si l'activité minière n'utilise plus le feu pour les défrichements, les feux de brousses demeurent une menace pour les écosystèmes du grand Sud notamment du fait d'une fréquentation en hausse de la région que ce soit par les travailleurs du site minier et industriel ou par les touristes.

D'autres menaces, comme celle des espèces envahissantes (Pin des Caraïbes, cerf et cochon), semblent s'intensifier et le développement des activités touristiques, s'il n'est pas correctement encadré, constitue une nouvelle menace potentielle à prendre en considération.

Les principales conséquences de ces pressions passées et actuelles, sont notamment une perte de couverture végétale pouvant entraîner des phénomènes d'érosion et une perte de diversité pouvant entraîner une augmentation de la fragmentation des milieux. Cela induit une grande exposition du grand Sud aux aléas climatiques (fortes pluies, cyclones, mais également sécheresse) et donc une plus grande vulnérabilité des biens et personnes mais également de la biodiversité.

Ce contexte décrit ci-dessus pour le site pilote RESCCUE, à quelques détails près, reflète de manière assez fidèle l'état de l'ensemble du territoire provincial, où la présence de sites dégradés constitue aujourd'hui une menace tant pour les biens et les personnes, que pour la biodiversité et les services qu'elle rend aux populations locales.

Depuis quelques années, l'exécutif provincial a pris conscience de l'importance d'établir une stratégie relative à la restauration de ces sites, afin d'être en mesure de planifier à court, moyen et long terme, les actions à mettre en œuvre pour limiter voire stopper l'impact des zones dégradées sur les biens et personnes, mais également sur la biodiversité et les services qu'elle rend.

Il a donc été constitué un groupe technique de travail notamment composé des services compétents en la matière de la province Sud (DDR et DENV), ainsi que des services du gouvernement (DAVAR, DIMENC) et du Fonds Nickel. Ce groupe est piloté par le Service des Installations Classées, de l'impact environnemental et des déchets (SICIED) de la Direction de l'Environnement de la province Sud qui a un rôle assembleur, soit d'apporter une animation et coordination spécifiques nécessaires à l'émergence de cette stratégie. Les comptes rendus validés des réunions de ce COTECH sont annexés à ce document (annexe 1 : CR du COTECH du 30/03/2017, CR du COTECH du 10/10/2017, CR du COTECH du 24/04/2018)

Dans l'optique d'élaborer une stratégie provinciale en matière de restauration des sites dégradés, la province Sud (pS), à travers le SICIED, a sollicité un accompagnement du projet RESCCUE pour développer la réflexion méthodologique de priorisation d'une restauration écologique des sites dégradés prenant en compte les enjeux locaux, la problématique de l'érosion et de conservation de la biodiversité. Pour se faire, la pS a confié à l'opérateur RESCCUE la charge de travailler sur l'élaboration d'une stratégie de restauration pour le grand Sud qui pourrait ensuite être étendue à l'ensemble du territoire provincial.

Le présent document constitue donc la stratégie de restauration du site pilote RESCCUE tout en veillant à la faisabilité d'une duplication de la méthode sur la province.

Afin de répondre au mieux à ces besoins, le présent livrable s'articule autour de différentes parties :

- La clarification des objectifs de la stratégie (chapitre 2) ;
- Une rétrospective des actions de restauration dans le grand Sud de même qu'un passage en revue des techniques disponibles (chapitre 3) ;
- Une méthodologie de priorisation des sites à restaurer intégrant la définition de « sites dégradés » d'un point de vue de la dynamique naturelle de restauration des écosystèmes (chapitre 4) ;
- Les résultats de la méthodologie de priorisation appliqué au grand Sud (chapitre 5) ;
- Les actions préalables et nécessaires à l'opérationnalisation de la restauration (chapitre 6) ;
- Les recommandations générales sur les techniques à promouvoir (chapitre 7) ;
- La conclusion (chapitre 8).

Les chapitres 2 et 3 n'ont pas vocation à amener de nouvelles données ou connaissances, il s'agit de documenter l'existant de manière succincte et de questionner ce dernier afin d'amener le lecteur dans une réflexion stratégique pour une restauration priorisée à l'échelle d'un territoire (chapitre 4).

Chapitre 2 Objectifs de la stratégie de restauration pour le Grand Sud

Sur base des discussions (CR de réunion préalable au COTECH du 15/09/2016 et CR du COTECH du 30/03/2017, voir annexe 1) menées dans le cadre du groupe de travail portant sur l'élaboration d'une stratégie provinciale en matière de restauration des sites dégradés et de la rédaction d'un plan d'action associé intégrant le principe d'évitement, de réduction et de compensation (ERC), les objectifs de la stratégie pilote pour le grand sud appuyée par le projet RESCCUE ont été précisés.

Les deux objectifs généraux (OGs) de cette stratégie sont les suivants :

- OG 1 : Les phénomènes d'érosion sont limités à l'échelle du grand sud hors zones minières en activité ;
- OG 2 : La perte de biodiversité est limitée à l'échelle du grand sud hors zones minières en activité.

Rappelons que ce sont des objectifs généraux et que la stratégie apporte une contribution comme d'autres outils à l'atteinte de ceux-ci.

L'objectif spécifique (OS) de la stratégie est de définir, sur base d'une réflexion cartographique, les espaces qui méritent d'être prioritairement restaurés par les acteurs du territoire et de prévoir les actions nécessaires à une opérationnalisation de la restauration des sites pré-identifiés.

Certaines hypothèses clés portent sur la logique d'intervention permettant l'atteinte des objectifs généraux ; il y aura lieu de lever ces hypothèses si l'on souhaite que la stratégie contribue effectivement à l'atteinte de ceux-ci. En particulier, les hypothèses suivantes ont été identifiées :

- La mise en œuvre de la stratégie s'appuie sur une volonté politique forte tant d'un point de vue de la mise à disposition de moyens que de la collaboration entre acteurs institutionnels ;
- L'ancrage institutionnel et les responsabilités de l'opérationnalisation de la stratégie est acté au niveau provincial et tous les services concernés concourent à sa bonne réalisation ;
- Les textes sont harmonisés et ne portent pas entrave à la mise en œuvre de la stratégie de restauration ;
- Le mécanisme de compensation dans le cadre de l'ERC de la pS et les moyens afférents se mettent au service de la mise en œuvre de la stratégie de restauration provinciale.

Chapitre 3 Rétrospective des opérations et techniques de restauration

1 BILAN DES OPERATIONS DE RESTAURATION A L'ECHELLE DU GRAND SUD

1.1 SURFACE RESTAUREE

L'identification de sites restaurés dans le Grand Sud s'appuie sur les données fournies par le Fonds Nickel, Vale-NC, la province Sud et le travail réalisé dans le cadre du projet RECO SYNTH, financé par le CNRT et mis en œuvre par l'Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC) et l'Université de Nouvelle-Calédonie (UNC). Trente sites ayant fait l'objet d'actions de restauration ont ainsi été recensés dans le grand Sud (Tableau 1 et Figure 2). En termes de surface, l'industriel Vale-NC a restauré 68,5 ha depuis son arrivée dans le grand Sud et 18,9 ha ont fait l'objet de réhabilitation par divers autres acteurs (province, commune...). Au total ce sont donc environ 87,5 ha qui ont été réhabilités ces dernières années.

A la lecture du Tableau 1, on constate à la fois la non-disponibilité des données et l'hétérogénéité des données disponibles, en particulier en ce qui concerne les techniques employées. Ainsi, la réalisation d'un tel bilan se heurte au déficit de bancarisation des données relatives aux actions de restauration et à l'absence d'un format identique utilisé. Dans ce contexte, seule une partie des informations sur les surfaces restaurées a pu être collectée.

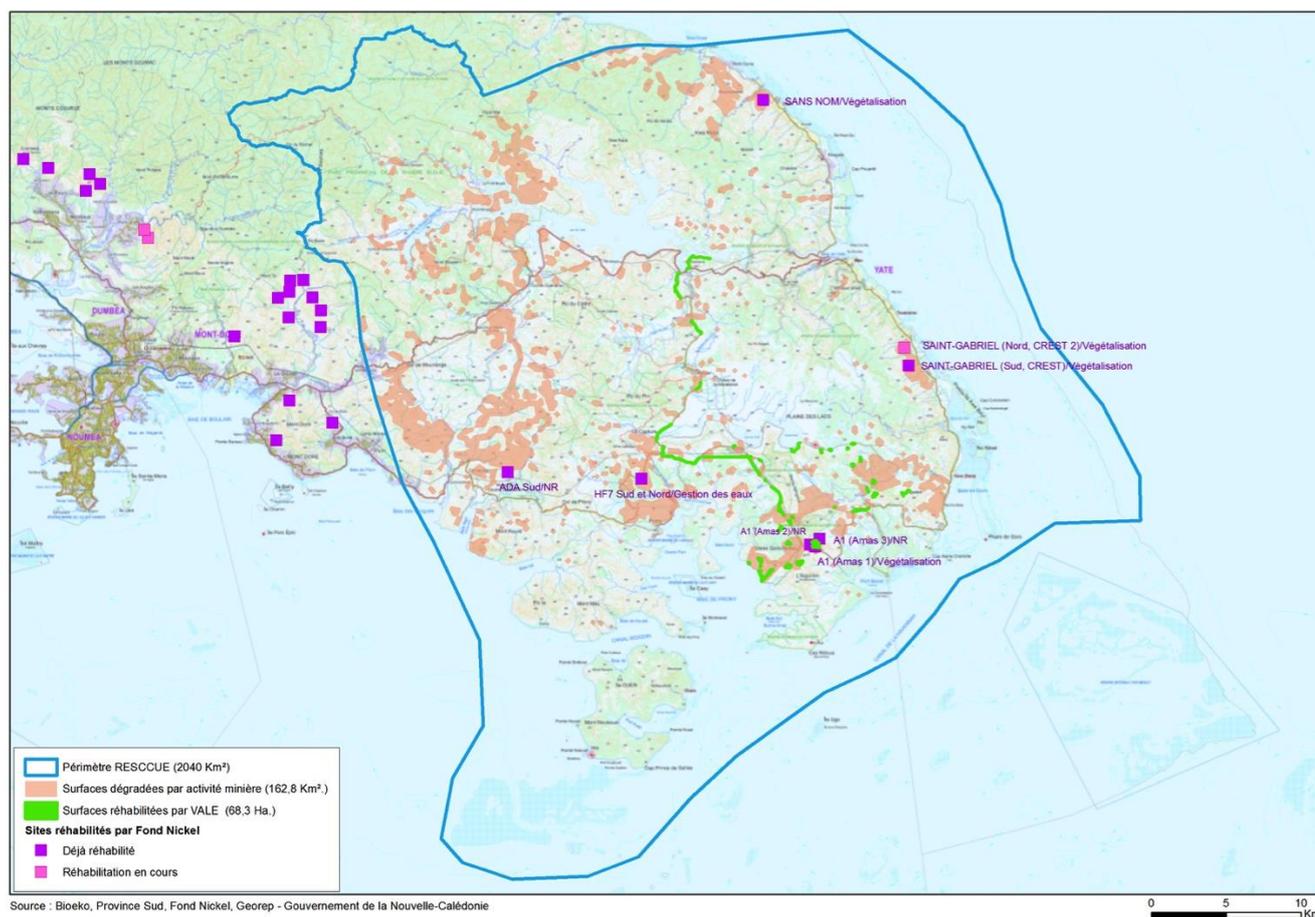


Figure 2. Localisation des surfaces restaurées du Grand Sud

Tableau 1. Liste des sites restaurés dans le Grand Sud (sources : CTFT, Fonds Nickel, IAC-UNC)

Mine	Site	Appellation	Date	Superficie (ha)	Technique employée
AMAX	Plaine des Lacs	Essai 60 – campement INCO	1971	0,04	plantation
AMAX	Plaine des Lacs	Essai 85 – Prony – La Capture	1973-1974	0,04	plantation
AMAX	Plaine des Lacs	Essai 127-1 – Prony	1975	0,05	enherbement par semis manuel
AMAX	Plaine des Lacs	Essai 127-2 – Prony	1977	0,27	plantation / semis hydraulique
AMAX	Plaine des Lacs	Essai 235 – Prony	1978	n.d.	plantation
Mine « orpheline »	Saint Gabriel	Saint Gabriel – Sud Crest	2006-2010	n.d.	végétalisation / gestion des eaux
Goro	Verse de l'exercice minier	Verse de l'exercice minier – second passage	2008	0,7	semis hydraulique
Goro	Port de Prony	Convoyeur hydraulique	2008	n.d.	semis hydraulique
Goro	Port de Prony	Route du port – second passage	2008	2,30	semis hydraulique
Goro	Verse du ferry	Verse du ferry	2008	4,16	semis hydraulique
Goro	Digue verse minière	Digue verse minière	2008	n.d.	semis hydraulique
Vale	Stop et Kué	Piste d'exploitation de la Kué principale	2008	n.d.	plantation
Vale	Usine	Bassin à résidus de l'usine pilote	2008	0,02	plantation
Vale	Carrière de route CR7	Carrière de route CR7	2009	0,85	plantation
Vale	Usine	Verse SMSP	2009	0,31	plantation
Vale	Usine	Ancien parking gendarmerie	2009	n.d.	plantation / semis hydraulique
Vale	Usine – Baie Nord	Route du port	2009	n.d.	plantation
Mine « orpheline »	A1	Amas 1	2009-2010	10	végétalisation / gestion des eaux
Mine « orpheline »	A1	Amas 2	2009-2010		végétalisation / gestion des eaux
Mine « orpheline »	A1	Amas 3	2009-2010		végétalisation / gestion des eaux
Vale	Prony Saint Label	Empreinte tuyau	2010	5,50	plantation
Mine « orpheline »	Saint Gabriel	Saint Gabriel – Nord Crest 2	2010	9	gestion des eaux
Vale	Usine	Pente du convoyeur	2010	4,90	plantation
Vale	CPKE	CPKE	2011	1,37	plantation / semis hydraulique
Vale	Usine	Col de l'antenne	2011	0,56	plantation
Vale	Route de Port Boisé	Route de Port Boisé	2012	2,23	plantation
Site naturel dégradé	Cap N'Dua	Cap N'Dua	2013-2014	n.d.	correction torrentielle / plantation
Mine « orpheline »	Sans Nom	Sans Nom	n.d.	n.d.	végétalisation
MKM	ADA Sud	ADA Sud	n.d.	n.d.	sans objet
SLN	HF7	HF7 Sud et Nord	n.d.	n.d.	gestion des eaux

n.d. : information non disponible

Ainsi, on estime que très peu de surface¹ du grand Sud a fait l'objet à ce jour d'actions de restauration. A cette faible densité d'effort de restauration, s'ajoute l'inexistence d'un dispositif de suivi des sites, chantiers et ouvrages de restauration.

Aux 30 sites déjà restaurés, on peut ajouter 2 sites dont la restauration est programmée pour la période 2017-2018 par le Fonds Nickel dans le cadre du programme pluriannuel de réhabilitation des zones dégradées par l'activité minière (cf. tableau 2). Il faut également y ajouter le programme prévisionnel de plantation de Vale-NC lié à ses actions compensatoires (320 ha prévus entre 2015 et 2021 – cf. Tableaux 3 et 4)

Tableau 2. Liste des actions de restauration prévues pour le site pilote

Site	Technique employée	Stade	Superficie (ha)
Ancienne mine de fer des Japonais	gestion des eaux	études	10
Dunite 78	gestion des eaux	réalisation	30
Plan prévisionnel plantation Vale-NC 2015-2021	gestion des eaux et plantation	Etudes et réalisation	320

Sur la base des données disponibles et transmises, le constat est que seul un très faible pourcentage des surfaces dégradées a fait l'objet d'actions de restauration dans le grand Sud. Ce dernier est estimé à moins de 1% de la surface à traiter (voir le chapitre 4 pour la définition d'un « site dégradé » et le chapitre 5 pour ce qui est des surfaces à considérer dans la priorisation).

L'effort de restauration à réaliser sur le grand Sud est donc considérable et nécessite une priorisation des sites et des actions.

L'autre enseignement de ce bilan est le déficit de bancarisation des données relatives aux actions de restauration et à l'absence d'un format identique utilisé, rendant particulièrement difficile la réalisation d'un tel bilan. Ce point est essentiel à retenir en vue de l'élaboration de la stratégie de restauration du grand Sud, et plus largement de la province Sud.

1.2 ACTEURS IMPLIQUES

On peut distinguer trois types d'opérations de restauration, celles-ci impliquant des acteurs différents :

- la restauration des sites miniers « orphelins ». Jusqu'en 2009, leur restauration était assurée par la Direction du Développement Rural (DDR) à la province Sud, sur des financements issus du Contrat de Développement. Depuis 2009, le Fonds Nickel assure la restauration de ces mines orphelines ;
- la réhabilitation de sites miniers prévue dans le cadre de la convention d'exploitation minière, à la charge de l'opérateur minier ;
- la réhabilitation de sites dégradés hors sites miniers (ex. : lavakas, zones parcourues par le feu,...). Depuis 2009, ces opérations sont menées par la DDR à la province Sud.

Les modalités d'incorporation des sites dans le plan pluriannuel de réhabilitation (2 PPRs – 2009 à 2014 et 2015 à 2019) du Fonds Nickel sont fonction de plusieurs critères. Des sites dégradés sont « écartés » du PPR dans les conditions suivantes ²:

¹ A défaut d'une identification préalable de ce qui pourrait être considéré comme surface dégradée, on ne peut quantifier ici l'effort. La stratégie adopte une définition de « surface dégradée » qui aide à la priorisation (voir chapitre 4).

² Site de la DIMENC – consulté la dernière fois le 8/10/2018 <https://dimenc.gouv.nc/fonds-nickel/programme-pluriannuel-de-rehabilitation-ppr>

- Sont jugés inéligibles à l'intervention du Fonds Nickel, comme des Comités de Réhabilitation des Sites Minier (CRSM), car exploités après 1975, ou dont la cause de dégradation n'est pas minière (naturel, anthropique) ;
- Reprise d'exploitation sérieusement envisagée à court terme.

Des sites dégradés sont provisoirement mis de côté du PPR dans les conditions suivantes :

- Titre de recherche ou prospection en cours ou prise en charge volontaire par le titulaire;
- Intervention non pertinente ou dont la faisabilité est douteuse ;
- Rejet explicite ou supposé d'une intervention par des riverains.

Les sites ainsi sélectionnés sont ensuite évalués selon deux notes : une relative à l'impact des dégradations minières (conjugaison du niveau de la dynamique de dégradation et l'impact environnemental) et l'autre relative à la pertinence de la réhabilitation (conjugaison entre la faisabilité technique et l'effet social).

Le tableau 3 présente pour chacun des 30 sites restaurés les informations relatives aux financeurs de la restauration et aux opérateurs techniques de celle-ci. Il ressort qu'à ce jour, trois sources de financement ont permis la restauration des sites :

- les fonds des opérateurs miniers ;
- la délibération 104 *via* les Comités de Réhabilitation des Sites Miniers (CRSM) ;
- le Contrat de Développement.

Pour les opérations de restauration d'ores et déjà prévues en 2017-2018, les financements du Fonds Nickel viendront s'ajouter à cette liste.

Tableau 3. Financeurs et opérateurs techniques des sites restaurés dans le grand Sud (Fonds Nickel, IAC-UNC, 2017)

Site	Appellation	Financier	Opérateur technique
Plaine des Lacs	Essai 60 – campement INCO	AMAX	CTFT
Plaine des Lacs	Essai 85 – Prony – La Capture	AMAX	CTFT
Plaine des Lacs	Essai 127-1 – Prony	AMAX	CTFT
Plaine des Lacs	Essai 127-2 – Prony	AMAX	CTFT
Plaine des Lacs	Essai 235 – Prony	AMAX	CTFT
Saint Gabriel	Saint Gabriel – Sud Crest	Délibération 104 <i>via</i> le CRSM	province Sud
Verse de l'exercice minier	Verse de l'exercice minier – second passage	Goro Nickel	Siras Pacifique
Port de Prony	Convoyeur hydraulique	Goro Nickel	Siras Pacifique
Port de Prony	Route du port – second passage	Goro Nickel	Siras Pacifique
Verse du ferry	Verse du ferry	Goro Nickel	Siras Pacifique
Digue verse minière	Digue verse minière	Goro Nickel	Siras Pacifique
Stop et Kué	Piste d'exploitation de la Kué principale	Vale-NC	Vale-NC
Usine	Bassin à résidus de l'usine pilote	Vale-NC	Vale-NC
Carrière de route CR7	Carrière de route CR7	Vale-NC	Vale-NC
Usine	Verse SMSP	Vale-NC	Vale-NC
Usine	Ancien parking gendarmerie	Vale-NC	Vale-NC
Usine – Baie Nord	Route du port	Vale-NC	Vale-NC
A1	Amas 1	Contrat de Développement	Vale-NC / province Sud
A1	Amas 2	Contrat de Développement	Vale-NC / province Sud
A1	Amas 3	Contrat de Développement	Vale-NC / province Sud
Prony Saint Label	Empreinte tuyau	Vale-NC	Vale-NC

Saint Gabriel	Saint Gabriel – Nord Crest 2	Délibération 104 <i>via</i> le CRSM	province Sud
Usine	Pente du convoyeur	Vale-NC	Vale-NC
CPKE	CPKE	Vale-NC	Vale-NC
Usine	Col de l'antenne	Vale-NC	Vale-NC
Route de Port Boisé	Route de Port Boisé	Vale-NC	Vale-NC
Cap N'Dua	Cap N'Dua	Contrat de Développement	province Sud
Sans Nom	Sans Nom	Délibération 104 <i>via</i> le CRSM	province Sud
ADA Sud	ADA Sud	MKM	n.d.
HF7	HF7 Sud et Nord	SLN	n.d.

n.d. : information non disponible

Au niveau des 30 sites restaurés, 4 opérateurs techniques sont intervenus :

- Vale-NC ;
- la province Sud *via* la DDR ;
- le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) ;
- Siras Pacifique.

1.3 TECHNIQUES UTILISEES

En termes de techniques utilisées sur le grand Sud, on peut distinguer 2 grands types d'opérations en fonction de leur objectif principal:

- les opérations de gestion des eaux (y compris la correction torrentielle) ;
- les opérations de revégétalisation.

Pour ce qui est des opérations de gestion des eaux, le site de Cap N'Dua a porté sur la restauration de lavaka et a bénéficié d'une opération pilote de la DDR portant sur la correction de ravines par des techniques dites « RTM » préalablement à la mise en œuvre de techniques de revégétalisation (2015). L'objectif de ces techniques, dites de « lutte active », est de stopper ou de limiter les phénomènes d'érosion à la source. Sur le site du Cap N'Dua, cela a été réalisé *via* la stabilisation des profils en longs de thalwegs par des ouvrages transversaux (seuil en bois double-parois, seuil en bois simple parois, gabion).

Deux zones du site de Cap N'Dua ont été traitées :

- la zone Nord (zone latéritique de lavaka se terminant en aval par une ravine bien incisée qui traversait, par l'intermédiaire d'une buse, la piste d'accès au phare).
- la zone Sud (zone de lavaka présentant un réseau dendritique de ravines latéritiques en amont se terminant en un seul objet de dimension plus importante sur sa partie aval. L'exutoire de la lavaka correspond à la falaise rocheuse abrupte qui borde le littoral sud du Cap N'Dua).



Figure 3. Ouvrage bois double-parois sur la zone Sud de Cap N'dua

Sur les sites A1 et Saint Gabriel Nord Crest 2, le travail de gestion des eaux a consisté en la création de zones de décantation *via* la mise en place de digues et de décanteurs.

Notons ici la nécessité d'intégrer le fait que les décanteurs deviennent transparents lors d'évènements extrêmes précisément où la charge solide mobilisée dans l'écoulement est la plus importante. Dans le cadre du suivi hydrologique du projet Hydromine réalisé sur 4 ans, un seul épisode de pluie a représenté 7/10 de la charge solide totale sur Poro aval (Hydromine, 2014). Ces conclusions de projet ne remettent pas en cause l'utilité courante des décanteurs (effet tampon lors de petits évènements à travers la sédimentation des flux ruisselées collectés)

particulièrement sur site exploité ou en attente de l'être mais recadrent bien sur le fait que l'outil ne permet de retenir qu'une faible partie des sédiments érodés.

Pour ce qui est des opérations de revégétalisation, les informations utilisées sont celles obtenues dans le cadre du projet RECOSYNTH. Elles concernent une superficie de 23,4 ha.

Sur cette superficie, 3 types d'actions ont été mis en œuvre (Figure 7) :

- des plantations en plein (56 %) ;
- du semis hydraulique (24 %) ;
- du semis manuel (20 %).

La répartition par type d'actions de revégétalisation est vraisemblablement à relier à la configuration des terrains à revégétaliser. Les plantations en plein ont concerné avant tout les bords de piste (figure 5). Elles ont été mises en œuvre par les 4 opérateurs techniques cités précédemment.

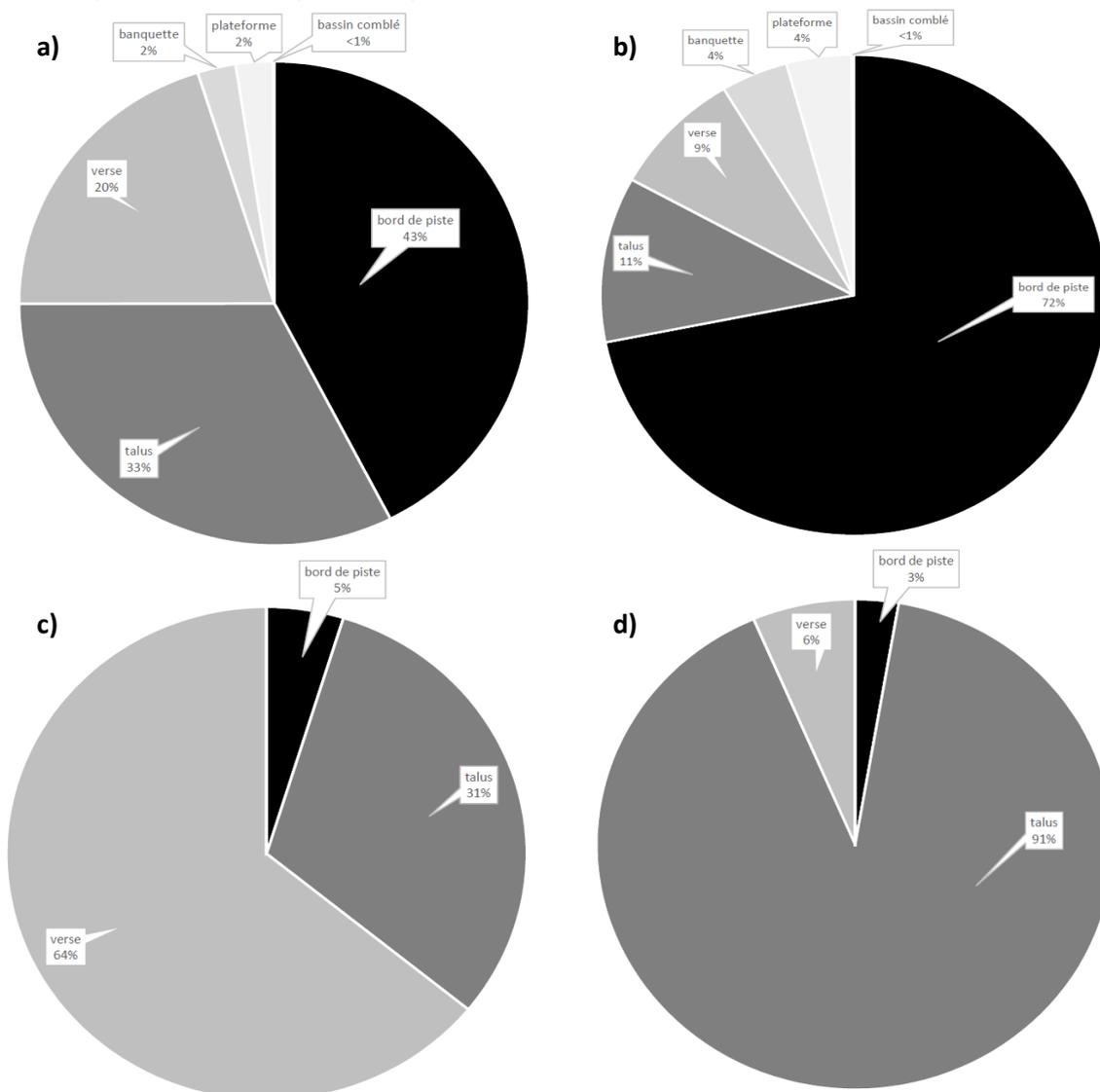


Figure 4. Répartition des surfaces revégétalisées du Grand Sud suivant le type de surfaces et l'action mise en œuvre
a) Tout type d'actions, b) plantation en plein, c) semis hydraulique, d) semis manuel

Le semis hydraulique a été employé sur environ un quart des surfaces revégétalisées, en majorité sur verse (figure 6). Cette technique n'a concerné que les sites de Vale-NC et a été mise en œuvre par Siras Pacifique. Enfin, l'utilisation du semis manuel a concerné principalement les talus de la route du convoyeur de Vale-NC. Cette technique a également été mise en œuvre par Siras Pacifique.

Tableau 4. Principales caractéristiques techniques des plantations menées sur les sites restaurés dans le grand Sud

Densité des plants	Travail du sol		Utilisation de topsoil		Utilisation d'hydorétenteur		Paillage		Utilisation de mycorhizes		Nombre d'espèces endémiques ou autochtones utilisées			Nombre d'espèces exotiques utilisées	
	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non	< 10	10 à 29	30 à 46	0	1 à 15
De 0,25 à 1 plant/m ²	55 %	45 %	93 %	7 %	96 %	4 %	>99 %	<1 %	0 %	100 %	10 %	28 %	66 %	96 %	4 %
	rippage, griffage, reprofilage				14 g/plant, humidifié		copeaux de bois autour du plant								

NB : Les pourcentages sont rapportés aux superficies.

Tableau 5. Principales caractéristiques techniques du semis hydraulique utilisé sur les sites restaurés dans le grand Sud

Densité de graines/m ²			Travail du sol		Utilisation de topsoil		Utilisation d'un filet anti-érosion		Utilisation de mycorhizes		Nombre d'espèces endémiques ou autochtones utilisées			Nombre d'espèces exotiques utilisées	
500 à 2000	>2000 à 4000	>4000 à 6000	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non	0	1 à 8	9 à 14	0	1 à 6
36 %	50 %	14 %	20 %	80 %	35 %	65 %	75 %	25 %	0 %	100 %	24 %	48 %	28 %	34 %	66 %
			griffage				toile de jute 500 g/m ²								

NB : Les pourcentages sont rapportés aux superficies.

Tableau 6. Principales caractéristiques techniques du semis manuel utilisé sur les sites restaurés dans le grand Sud

Densité de graines/m ²			Travail du sol		Utilisation de topsoil		Utilisation d'un filet anti-érosion		Utilisation de mycorhizes		Nombre d'espèces endémiques ou autochtones utilisées			Nombre d'espèces exotiques utilisées	
500 à 2000	>2000 à 4000	>4000 à 6000	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non	0	1 à 8	9 à 14	0	1 à 6
60 %	40 %	0 %	15 %	85 %	97 %	3 %	23 %	77 %	0 %	100 %	0 %	23 %	77 %	94 %	6 %
			griffage				toile de jute 500 g/m ²								

NB : Les pourcentages sont rapportés aux superficies.

Les **plantations en plein** se caractérisent principalement par un travail du sol préalable, accompagné de l'utilisation de topsoil (Tableau 4). Les utilisations d'hydorétenteur et de paillage (Figure 5) ont été presque systématiques. Enfin, à l'exception de certaines plantations anciennes, aucune espèce exotique n'a été plantée. *A contrario*, la majorité des plantations compte plus de 30 espèces endémiques ou autochtones (Tableau 4).

Figure 5. Utilisation de paillage sur plantation en plein dans le Grand Sud (sans topsoil)



Le **semis hydraulique** a été réalisé majoritairement sans travail préalable du sol, et dans 1/3 des cas avec utilisation de topsoil. Il a, le plus souvent, nécessité la pose d'un filet anti-érosion en toile de jute (Figure 6). L'utilisation d'espèces exotiques a été fréquente. Le nombre d'espèces endémiques ou autochtones n'était compris qu'entre 9 et 14 pour un quart des surfaces traitées avec cette technique (Tableau 5).

Figure 6. Utilisation d'un filet anti-érosion avec semis hydraulique

Le **semis manuel** a été réalisé majoritairement sans travail préalable du sol, mais avec utilisation de topsoil (97 % des cas). Il a été réalisé, le plus souvent, sans pose de filet anti-érosion. L'utilisation d'espèces exotiques a été rare. Les surfaces traitées, où le nombre d'espèces endémiques ou autochtones était compris entre 9 et 14, représentaient les 3/4 des surfaces restaurées avec cette technique (Tableau 6).

Sur les surfaces revégétalisées, 75 % d'entre elles n'ont pas fait l'objet de suivi. On comprendra qu'il est difficile dans ces conditions de réaliser une analyse des succès et des échecs des actions de revégétalisation menées dans le grand Sud.

Malgré cela, on retiendra l'utilisation quasi-systématique du topsoil (93% des cas en plantation et 97% des cas en semis manuel), chose qui n'est pas envisageable sur la plupart des sites qui seraient à restaurer sur le grand Sud à défaut de disponibilité de cette ressource. C'est une question centrale dans le cadre des choix techniques pour la mise en œuvre d'une stratégie de restauration qui se veut intégratrice.

Le projet CNRT RECOSYNTH, restitué en 2017 a eu pour objet d'évaluer l'efficacité des mesures de restauration écologique conduites sur un ensemble de sites miniers de Nouvelle Calédonie (un échantillon de 35 zones revégétalisées a été étudiée en détail), certains exécutés depuis plusieurs décennies et avec des protocoles variés (Amir et al., 2017). Ce dernier projet a mis en évidence le faible taux de réussite des chantiers de restauration écologique sur ces 30 dernières années (sur base d'un indicateur synthétique) et les effets de certaines pratiques sur la réussite des chantiers. Ledit projet a mis en évidence que l'utilisation et la mise en œuvre d'un corpus de bonnes pratiques permet généralement une restauration écologique satisfaisante sur sols miniers là où un modelage de la topographie ou une décompaction des sols aux engins est envisageable (utilisation du topsoils, décompaction et adaptation de la granulométrie des substrats, utilisation d'intrants (matière organique), de la fertilisation (boues de STEP) et d'hydro-rétenteur, utilisation des brise-vents, des espèces fixatrices d'azote (*Acacia spirorbis*, *Casuarinacées*, etc.), respect de la période de plantation, veille à l'introduction d'une diversité d'espèces la plus large possible, etc.).

Au regard de ces constats, la nouvelle programmation du CNRT (2017 – projets qui seront exécutés de 2019 à 2021) a prévu 3 projets portant sur la restauration écologique de sites dégradés :

1. Un projet visant le développement d'un référentiel technique et la mise en place de sites démonstratifs en particulier pour le traitement des ravines ou lavakas en aval des sites miniers ;

2. Un projet visant l'amélioration des techniques déjà utilisées (préparation des surfaces, amendements, utilisation du topsoil, etc.)
3. Un projet visant la création et le développement des champs semenciers dans l'optique d'une utilisation en semis hydraulique ou en semis direct.

Les techniques utilisées pour la restauration de surfaces dégradées dans le grand Sud se répartissent entre la gestion des eaux et la revégétalisation. Les opérations de gestion des eaux ont consisté en du reprofilage, de la création de bassins de décantation afin de contrôler l'écoulement des eaux de ruissellement et limiter le transport solide.

La revégétalisation a consisté en majorité en de la plantation en plein, avant tout en bord de piste. La mise en place des plantations s'est accompagnée, le plus souvent, d'un travail préalable du sol et de l'utilisation de topsoil. Les plantations des années 2 000 comptent uniquement des espèces endémiques ou autochtones, avec majoritairement plus de 30 espèces utilisées. La technique du semis hydraulique a quant à elle été utilisée sur les verses et les talus. Un mélange d'espèces exotiques et endémiques ou autochtones a été employé, avec un niveau de diversité spécifique moindre que pour les plantations en plein.

De manière générale, le projet RECO SYNTH a mis en évidence le faible taux de réussite des chantiers de restauration écologique sur ces 30 dernières années (sur base d'un indicateur synthétique) et les effets de certaines pratiques sur la réussite des chantiers. Ledit projet a mis en évidence que l'utilisation et la mise en œuvre d'un corpus de bonnes pratiques permet généralement une restauration écologique satisfaisante sur sols miniers là où un modelage de la topographie ou une décompaction des sols aux engins est envisageable. La nouvelle programmation du CNRT a prévu de s'appesantir sur le développement de différents référentiels techniques notamment là où l'accès aux outils et produits de la mine n'est pas forcément envisageable.

- La stratégie provinciale devra trouver les moyens de s'articuler avec ces nouveaux projets et de les amplifier afin de disposer d'outils techniques performants et opérationnels.

1.4 PROGRAMMES DE RESTAURATION ET GRILLES MULTICRITERES UTILISEES

A titre informatif, le Fonds Nickel, pour ce qui est des sites miniers « orphelins », et la province Sud, pour ce qui est de la réhabilitation des sites dégradés hors sites miniers, utilisent la même grille multicritères afin de définir des priorités dans les sites à restaurer. Dix critères pondérés sont considérés dans cette grille (Tableau 7) et font l'objet d'une notation qualitative. Chaque site dégradé se voit ainsi attribuer une note synthétisant l'évaluation des enjeux en termes de restauration.

Tableau 7. Principales caractéristiques techniques du semis manuel utilisé sur les sites restaurés dans le grand Sud

Poids	Critères	Notes					
		5	4	3	2	1	0
2	Ampleur dégradation	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
4	Dynamique dégradation	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
3	Impact sur ressource en eau	PPE, amont captage AEP	AEP souterrain, captage	Amont forage, puits	/	/	Non
2	Impact sur cours d'eau	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
1	Impact sur lagon	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
2	Impact sur habitat et population	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
2	Impact sur infrastructures	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non

2	Impact sur activités économiques	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
1	Impact sur biodiversité terrestre	CR EN	VU NP RR	Services écosystémiques	/	Hors KBA	/
1	Impact visuel	Très fort	Fort	/	Faible Ne sait pas	Très faible	Non

PPE : Périmètre de Protection des Eaux, EN : En danger ; CR : en danger Critique d'extinction ; VU : Vulnérable ; NP : Priorité Nationale ; RR : Répartition limitée ; KBA : zones clés de biodiversité

Comme on peut le constater, la notation des critères est très subjective et a été partiellement précisée dans le cadre d'études spécifiques pour le compte de province Sud (voir un exemple en annexe 2 dans le cadre d'une étude détaillée). On peut se poser dans ce cadre la question de l'homogénéité des interprétations entre différentes études commanditées à des prestataires différents.

De manière globale, on notera que :

- L'outil est intéressant et que le procédé utilisé est similaire à une analyse du risque où on qualifie l'aléa et les enjeux que l'on croise ou que l'on agrège ensuite ;
- le niveau de détail souhaité notamment la qualification du phénomène (sa dynamique et son ampleur (annexe 2)) nous semble trop important dans le cadre d'un effort de priorisation de la restauration des sites dégradés à l'échelle d'une province ou d'un territoire conséquent sauf si ces données existaient au préalable ou étaient facilement mobilisables ;
- la question de la définition de « site dégradé » et de ce que l'on considère objectivement comme tel n'a pas été abordée dans le cadre de cette réflexion, nous y reviendrons pour notre part au chapitre 4.

En conclusion, ces modalités de priorisation nous semblent plus adaptées à un échantillon de site connu (données ayant trait à la dégradation et sa dynamique relevées sur l'ensemble des sites), nous n'y aurons donc pas recours dans le cadre de l'approche cartographique de la méthodologie de priorisation (voir chapitre 4).

2 RETOUR SUR LES PRATIQUES DE RESTAURATION

La présente partie n'a pas vocation à se substituer aux travaux qui seront réalisés dans le cadre de la programmation du CNRT et de la stratégie de restauration (développement de référentiels techniques), elle fait part au lecteur des techniques usuelles en matière de restauration. Certaines ont déjà été exposées brièvement ci-dessus dans le cadre de la présentation des opérations menées dans le grand Sud mais sont rappelés au cours de cette section et détaillées sous forme de fiches synthétiques en annexe 3. Le lecteur qui souhaiterait plus de détails sur ces techniques se référera dans un premier temps aux sources bibliographiques citées dans la bibliographie.

Rappelons tout d'abord qu'il n'existe pas en soi de meilleures pratiques de restauration, mais plutôt une ou plusieurs synergies de pratiques adaptées à un site à restaurer. Aussi est-il essentiel de mener un diagnostic de terrain préalablement à toute action de restauration.

Conceptuellement, nous nous situons donc dans ce cas dans une phase qui a trait à l'opérationnalisation de la restauration après avoir identifié les sites prioritaires qui devraient, à priori, faire l'objet d'une restauration. La présente stratégie suggère dans son chapitre 6 une marche à suivre (feuille de route) aux services provinciaux pour opérationnaliser la restauration des sites dégradés.

2.1 DIAGNOSTIC PREALABLE A LA MISE EN ŒUVRE DE MESURES DE RESTAURATION

Le diagnostic préalable doit permettre de répondre aux questions suivantes :

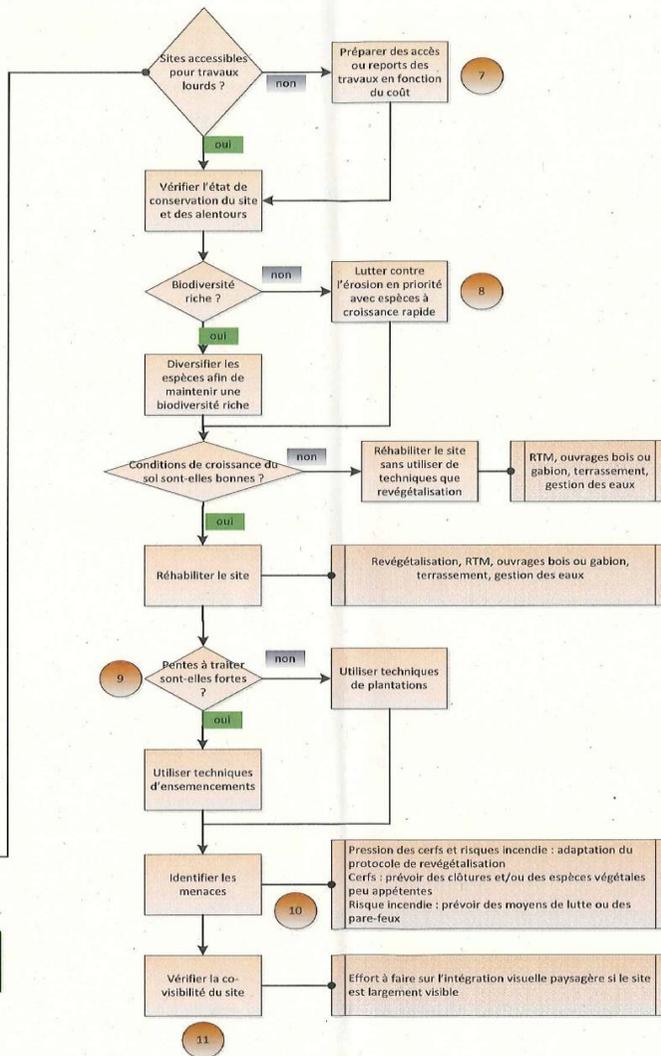
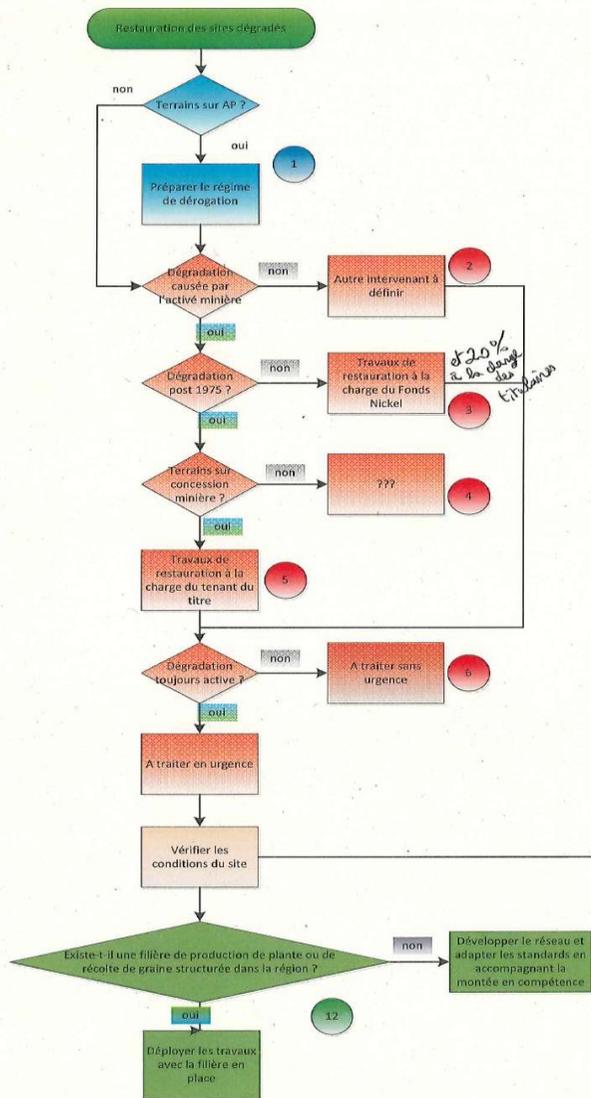
- **Quel est l'enjeu prioritaire de la restauration du site ?** L'enjeu prioritaire pourra être la connectivité écologique, la sylviculture, le risque inondation, l'eau potable, la protection des habitations ou la protection de réservoirs biologiques aquatiques ;
- **Quelles sont les potentialités du site à restaurer ?** Afin de répondre à l'enjeu prioritaire identifié, les potentialités du site à restaurer seront identifiées de manière qualitative. On pourra par exemple noter la présence d'une piste d'accès, d'un point d'eau, de zones en cours de revégétalisation naturelle, etc. ;
- **Quelles sont les contraintes du site à restaurer ?** De manière similaire, afin de répondre à l'enjeu prioritaire identifié, les contraintes du site à restaurer seront identifiées de manière qualitative. Parmi les contraintes d'un site, on pourra par exemple noter la difficulté d'accès, la présence de fortes pentes (> 40°), l'instabilité des terrains, etc.

En province Sud, le diagnostic préalable fait appel à une clé dichotomique opérationnelle. Cet outil sera utilisé par les services provinciaux lors de la visite des sites prioritaires pré-identifiés (voir chapitre 6) pour déterminer à quel type d'opération il serait opportun de faire appel avant de passer commande d'un Avant-Projet Sommaire (APS).

En fonction de l'enjeu prioritaire, les probabilités de recourir à des opérations de génie civil et/ou de génie biologique pour restaurer le site seront différentes. Une proposition indicative est présentée dans le Tableau 8.

Tableau 8. Adéquation entre enjeu prioritaire et opérations de génie civil et/ou génie biologique

Enjeu prioritaire	Opérations de génie civil	Opérations de génie biologique
Connectivité écologique	peu probable	très probable
Sylviculture	peu probable	très probable
Risque inondation	très probable	très probable
Eau potable	très probable	très probable
Protection des habitations	très probable	éventuellement
Protection des réservoirs biologiques aquatiques	éventuellement	éventuellement



- 1 Les travaux dans les aires protégées sont soumis à autorisation à moins d'être déjà précisés dans un plan de gestion du site inscrit (dispositions relatives aux aires protégées)
- 2 Une intervention, si elle est jugée nécessaire, peut être engagée par la commune ou le propriétaire foncier, les modalités sont à définir en fonction des enjeux du site.
- 3 Les programmes pluriannuels sont établis selon une grille de priorisation des sites, à l'échelle du pays. Les modalités d'intervention sont fonction des contraintes techniques du site.
- 4 Cas particulier: existe-t'il des concessions échues sur lesquelles des extractions ont eu lieu après 1975 (site orphelin post '75)? Ces cas devraient rester très marginaux.
- 5 Un exploitant doit corriger les dégradations passées du site en activité.
- 6 L'urgence peut aussi être liée à la présence de populations, de PPE, ou d'enjeux environnementaux en aval
- 7 La préparation des travaux: sécurisation des pistes, gestion des eaux, remodelage etc...représentent souvent le plus gros poste de dépenses de la réhabilitation. Suivant les possibilités, des actions plus légères peuvent être envisagées: semis manuels, plantations...sans travaux de préparation des terrains, avec le risque que les figures d'érosion s'accroissent.
- 8 Adapter les travaux aux enjeux « biodiversité » du site:
 - si la priorité doit être à la lutte contre l'érosion au sein d'un environnement dégradé, la diversité floristique est secondaire, au même titre que la notion d'endémisme;
 - si les enjeux sont avérés: prise en compte de la biodiversité avec une dimension écologique à apporter à la restauration du site.
 → Contextualiser le projet de restauration est primordial.
- 9 Pour des raisons de sécurité, les travaux de plantations ne peuvent se faire sur fortes pentes. sans remodelage, de nombreuses décharges ne peuvent donc être traitées par d'autres moyens que l'ensemencement, ou la fertilisation.
- 10 Faire le lien avec les projets d'envergure comme INC pour les feux et ICON pour le gros gibier.
- 11 Prise en compte plus importante de la notion de PAYSAGE: choix des aménagements, densité de plantations à mettre en œuvre, remodelage, réduction des effets de banquette.
- 12 La filière de production doit avoir des commandes deux ans en amont des chantiers, afin de garantir la livraison des plants. L'idéal est de soutenir les démarches locales, proches des sites à restaurer.

Figure 11 – Clé dichotomique préalable à la restauration d'un site dégradé (province Sud)

2.2 TECHNIQUES DE GENIE CIVIL ET DE GENIE ECOLOGIQUE

Comme le souligne le Tableau 8, les opérations de génie civil sont complémentaires d'opérations de génie biologique. Une stabilisation préalable des terrains peut en effet être nécessaire avant la mise en œuvre d'actions de végétalisation. On peut distinguer, en fonction de la stabilité des terrains et de la pente, différents types d'opérations de génie civil, de type « Restauration de Terrain en Montagne », préalable à une revégétalisation.

2.2.1 Opérations de génie civil

- **Glissements de terrain profond**

Dans le cas d'existence avérée ou présumée d'un glissement de terrain, une étude spécifique est requise. Pour qualifier ce phénomène, on se réfère aux méthodes (ex. : analyse par stéréoscopie des photos aériennes ...) et indices classiques (ex. : nature du substrat, pente, venues d'eau ...). La profondeur du glissement est un paramètre essentiel à prendre en compte. Une profondeur inférieure à 2 m est parfois avancée pour distinguer les glissements superficiels des glissements profonds. Or, il est généralement admis que si la stabilité des glissements superficiels peut être améliorée par la végétation (ex. : effet d'ancrage dû à la prospection racinaire dans le sol), ce n'est pas le cas pour les glissements profonds qui ne peuvent en général être traités par des techniques de stabilisation superficielles.

- **Terrains instables et zones de forte pente**

Dans le cas où les sols présentent des signes d'instabilités (ex. : incision du lit, versant soumis à une érosion intense...), il faut en premier lieu maîtriser l'érosion régressive en stabilisant les lits principaux du bassin par l'installation d'ouvrages de génie civil, car la végétation ne peut se développer que sur des terrains stabilisés. Divers travaux de génie civil et/ou de terrassements peuvent alors être envisagés pour stabiliser le profil ou la section du lit et réduire la pente sur les berges et versants. Ces travaux dits de « protection active » ont pour fonction de créer des conditions de stabilité temporaire des sols, nécessaires pour permettre aux plants de s'enraciner et s'installer.

Les zones de forte pente sont typiquement des zones de pente supérieure à 20-25 % (voire moins, mais > 10 %), mais cette limite dépend bien entendu de la sensibilité du sol à l'érosion (ex. : type de sol, type de couverture ...). Dans ces zones, les travaux dits de « protection active » ont pour objectif d'agir à la source sur les causes de l'érosion et du transport solide. Les ouvrages sont alors construits dans la zone de déclenchement des processus érosifs (ex. : berges, talus instables et lit des ravines). Ils visent à assurer la stabilité relative de la pente que l'on veut couvrir de végétation jusqu'au moment où celle-ci sera apte à remplir toute seule son rôle de protection.

Il peut s'agir de :

- travaux de gestion des eaux : drainage des eaux et/ou collecte et détournement des eaux (création d'un fossé périphérique et rejet des eaux dans un autre exutoire « plus » stable). Il conviendra toutefois de noter que **le rejet mal contrôlé dans un autre exutoire peut conduire à créer un ravinement intense dans ce dernier** ;
- travaux de correction torrentielle : en cas d'instabilité avérée du fond d'un torrent. **Si la surface du bassin versant drainé est supérieure à 1 ha**, on privilégiera dans ce cas les techniques de génie civil (seuils ou barrages) plutôt que le génie biologique (fascines, clayonnage) ;
- travaux de terrassement : aplanissement de la pente, création de banquettes, risbermes ...

Pour des sites à enjeux forts, les techniques de protection active peuvent être associées à des techniques dites de « protection ou défense passive » dont l'objectif est de réduire les effets dommageables liés à l'occurrence de l'aléa. Les ouvrages relevant de cette stratégie de défense sont implantés plus en aval. Les plages de dépôts de matériaux ou les bassins de décantation (pour les matériaux fins) rentrent dans cette catégorie.

Quelques techniques employées ou envisageables en génie civil pour la restauration sont présentées en annexe 4 sous forme de fiches techniques :

- Fiche1 : les travaux de correction des ravines par seuils ;
- Fiche 2 : les travaux de terrassement – Écrêtement des berges et des talus ;
- Fiche 3 : Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie civil.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse de ces trois fiches. La notion de site référence permet au lecteur s'il le souhaite de concrètement se rendre sur le terrain pour voir la réalisation de ce type de travaux.

Tableau 9. Synthèse des travaux de génie civil pour la restauration

Fiches 1 à 3	Objectif	Ouvrage	Contraintes de mise en œuvre
<p>Travaux de correction des ravines par seuils</p>  <p><i>Figure 7. Schéma d'une série de seuils et leur pente de compensation</i></p>	<p>O : L'objectif principal des seuils de consolidation est de stabiliser le fond de la ravine, voire même de le surélever (atterrissement), pour lutter contre l'affouillement longitudinal et stabiliser les berges.</p> <p>Site de référence en NC : site pilote de la Coulée DDR</p>	<p>Type : Seuils ou barrage en cascade ou en escalier</p> <p>Matériaux : Pierres sèches, blocks, bois (simple et double paroi), métal, gabion, terrablock.</p>	<p>Nécessité d'ancrer le premier ouvrage sur un point dur</p> <p>Nécessité de veiller à l'encrage des ailes dans les berges (au moins 1 m) et la mise en place d'une cuvette.</p> <p>Choix du type d'ouvrage en fonction du contexte environnemental du site, accessibilité, disponibilité en matériaux</p>
<p>Travaux de terrassement – Écrêtement des berges et des talus</p>  <p><i>Figure 8. Ecretage des berges en rive gauche</i></p>	<p>O : L'objectif est d'écrêter la bordure supérieure de la niche d'arrachement et les talus sub-verticaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Confectionner une pente régulière « stable » ou ➤ Créer des redans dans la pente en s'aidant de la technique suivante (banquette). <p>Site de référence en NC : site pilote de la Coulée DDR</p>	<p>Type : Écrêtement des berges et des talus</p> <p>Matériaux : NA</p>	<p>Disposer de préférence d'engins lourds pour les travaux</p> <p>Technique à combiner préférentiellement avec des banquettes grillagées (valorisation des matériaux écrêtés)</p> <p>Si la revégétalisation et le traitement des parties hautes des berges des lavakas ne sont pas prévus, il est préférable alors de s'abstenir de pratiquer de tels terrassements et conserver la protection de la cuirasse.</p>

Fiches 1 à 3

Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie civil



Figure 9. Banquettes grillagées en cours de construction

Objectif	Ouvrage	Contraintes de mise en œuvre
<p>O : stabiliser les pentes des talus et versants (réduction des phénomènes érosifs, du ravinement et de ruissellement qui s’y développent) pour permettre la réinstallation de la végétation.</p> <p>Le domaine d’utilisation privilégié est en terrain instable, sujet à l’érosion et au ravinement sur lequel ces phénomènes érosifs sont suffisamment intenses pour empêcher l’installation naturelle de la végétation.</p> <p>Site de référence en NC : site pilote de la Coulée DDR</p>	<p>Type : mur, murette, banquettes</p> <p>Matériaux : Pierre, métal, bois</p> <p>Ces ouvrages font en général 50 cm de hauteur. Une hauteur supérieure est déconseillée</p>	<p>La pente : cette technique est généralement utilisée sur des terrains meubles avec des pentes de versant soutenues (> 20-25°), mais pas trop (<45-50°), en dehors de zones d’éboulis vifs et de secteurs trop exposés aux chutes de blocs.</p> <p>En l’absence de recolonisation par la végétation et selon l’écartement des lignes, les phénomènes érosifs continuent à se développer et peuvent à moyen terme affouiller les lignes d’ouvrages et compromettre leur pérennité. Il est donc conseillé de veiller à une végétalisation assez rapidement après installation si une reprise naturelle n’est pas constatée.</p>

• **Limites aux techniques RTM de génie civil**

Les techniques RTM de traitement de versant et/ou de ravines ne peuvent arrêter l’intégralité de la charge sédimentaire : les fines vont continuer à transiter vers l’aval lors d’épisodes pluvieux intenses. Elles permettent de réduire significativement l’ampleur des phénomènes -notamment d’éviter leur aggravation – et d’arrêter les matériaux les plus grossiers. Il convient de rappeler que ces techniques ont également comme objectif de permettre l’implantation de la végétation. Cette revégétalisation du bassin versant et des lits amont des ravines garantira à terme une bonne efficacité vis-à-vis du transport solide. Les travaux de génie civil sont là pour permettre le développement de la végétation en stabilisant les terrains. Ainsi, certains ouvrages (ex. : seuils en bois « morts ») ne sont pas pérennes à long terme.

2.2.2 Opérations de génie biologique

Les opérations de génie biologique seront fonction, d'une part de la nature des dégradations des terrains, et d'autre part de l'enjeu prioritaire auquel elles visent à répondre. Suivant le type d'enjeu, les complémentarités entre génies biologique et civil seront mises à profit (Tableau 8).

Dans la continuité de la partie précédente sur le génie civil, les opérations de génie biologique visant la stabilisation des terrains et des pentes sont présentées. En fonction de la stabilité des terrains et de la pente, différents types d'opérations de génie biologique, de type « Restauration de Terrain en Montagne », sont distingués.

- **Glissements de terrain superficiels**

Dans le cas d'existence avérée ou présumée d'un glissement de terrain superficiel (< 2 m de profondeur), il est généralement admis que la végétation peut permettre de stabiliser le terrain (Tableau 9) grâce à ses effets sur le cycle de l'eau et la stabilité du sol.

Tableau 10. **Effets de la végétation sur les glissements de terrain superficiels**

(Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Sud françaises, 2012)

	Rôle positif de la forêt de la végétation	Conséquences sur les glissements	Facteurs pour la maîtrise des glissements
Sur le cycle de l'eau	Interception d'une partie de l'eau de pluie	Diminution de la quantité d'eau infiltrée dans le sol	Couvert végétal total (toutes strates confondues) de la zone de départ > 70 %
	Pompage d'une partie de l'eau du sol et restitution dans l'atmosphère par évapotranspiration		Présence de plusieurs strates végétales et d'essences diversifiées dans la zone de départ
Sur la stabilité du sol	Amélioration de la cohésion des sols et renforcement de leurs propriétés mécaniques grâce aux systèmes racinaires	Fixation des sols	Couvert végétal total (toutes strates confondues) de la zone de départ > 70 % Présence de plusieurs strates végétales et d'essences diversifiées dans la zone de départ

- **Terrains instables et zones de forte pente**

Sur terrains instables à forte pente, typiquement sur terrains meubles avec des pentes de versant soutenues (comprises entre 20° et 45°), situés en dehors de zones d'éboulis vifs et de secteurs trop exposés aux chutes de blocs, la stabilisation des pentes et versants pourra se faire en faisant appel à du génie biologique.

Dans ces zones, les travaux dits de « protection active » ont pour objectif d'agir à la source sur les causes de l'érosion et du transport solide. Les ouvrages « biologiques » sont alors construits dans la zone de déclenchement des processus érosifs et visent à assurer la stabilité relative de la pente que l'on veut couvrir de végétation jusqu'au moment où celle-ci sera apte à remplir toute seule son rôle de protection.

Les Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie biologique peuvent faire appel à la mise en place de fascines, de clayonnage ou de palissades (pour voir les détails techniques voir annexe 3 – fiche technique 4)



Figure 10. Exemple de fascine

- **Terrains stables et érodables**

Sur terrains stables et érodables, la revégétalisation vise à lutter contre l'érosion par fixation des sols et par protection contre les agents érosifs (ex. : régulation du régime hydrique, régulation thermique, protection mécanique). La végétation apporte également une protection « passive » de proximité par piégeage et rétention des sédiments (ex. : effet barrière de la végétation) et permet enfin d'améliorer les fonctionnalités des sols.

Tableau 11. Effets de la végétation sur l'érosion et les crues torrentielles

(adapté du Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Sud françaises, 2012)

	Rôle positif de la forêt de la végétation	Conséquences sur l'érosion et les crues	Facteurs pour la maîtrise de l'érosion et des crues
Sur le cycle de l'eau	Interception d'une partie de l'eau de pluie	Diminution du ruissellement superficiel de l'eau	Couvert végétal total (toutes strates confondues) du bassin versant > 70 %
	Augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol	Diminution de la fréquence et de l'intensité des crues	Présence de plusieurs strates végétales et d'essences diversifiées
	Pompage d'une partie de l'eau du sol et restitution dans l'atmosphère par évapotranspiration		Proximité du couvert végétal avec le cours d'eau
Sur la stabilité du sol	Diminution de l'énergie cinétique des gouttes de pluie	Réduction de l'effet « splash »	Couvert végétal total (toutes strates confondues) du bassin versant > 70 %
	Atténuation des écarts thermiques journaliers	Réduction de la désagrégation des roches	
	Amélioration de la cohésion des sols et renforcement de leurs propriétés mécaniques grâce aux systèmes racinaires	Fixation des sols	Présence de plusieurs strates végétales et d'essences diversifiées

Piégeage et rétention des sédiments érodés à l'amont	Diminution de la quantité de sédiments à l'aval des bassins versants	Couvert végétal arbustif et herbacé de la ravine considérée > 30% et situé dans le lit de celle-ci
--	--	--

Les techniques de génie biologique peuvent être appliquées en particulier :

- pour les petites ravines dont la surface du bassin versant est < à 1 ha ;
- sur les versants stables et/ou peu pentus (< 20°).

Pour les petites ravines (< 1 ha), il est envisageable d'intervenir directement dans le lit. Les végétaux situés à l'aval d'une ravine, et plus particulièrement les strates herbacées et sous-arbustive situées dans les lits, constituent les écrans les plus efficaces. Les ouvrages biologiques et la végétation situés à l'aval de la ravine piègent et retiennent les sédiments érodés plus à l'amont (Rey et *al.*, 2002). En particulier, la végétalisation de la partie amont des versants ainsi que celle des crêtes ne seraient pas nécessaires. Les études menées par Irstea, sur marnes noires en climat méditerranéen, ont montré qu'il n'est pas indispensable de végétaliser en entier une petite ravine pour stopper la production sédimentaire en charriage à son exutoire, et ainsi réduire sensiblement l'aléa érosion superficielle. Un taux de couverture végétale compris entre 30 et 70 % permet, en effet, dans ces conditions, d'obtenir un rôle de protection contre cet aléa qualifié de « moyen à efficace ».

Si ces résultats ne sont pas forcément transposables directement aux sites dégradés du Grand Sud, ils permettent de tirer les enseignements suivants :

- la revégétalisation des parties basses des ravines, et notamment les lits, permet de réduire sensiblement les quantités de sédiments sortant des bassins versants ;
- une revégétalisation partielle permet de réduire sensiblement l'aléa érosion superficielle. En particulier, la végétalisation de la partie amont des versants et des crêtes n'est pas obligatoire. Un taux de couverture végétale de l'ordre de 70 % (par rapport à la surface du lit) pourrait être un objectif à atteindre pour obtenir une protection efficace. Les travaux conjoints de l'IAC, Irstea et INRA (J. Demenois, 2017) sur les versants stables et/ou peu pentus du grand Sud, corroborent cette valeur. Dans ces conditions topographiques, le taux de couverture végétale minimum nécessaire pour limiter l'érosion hydrique pourrait se situer entre 25 et 70 % pour les latérites sur substrats ultramafiques dans le grand Sud (J. Demenois, 2017) ;
- la composition spécifique de la couverture végétale doit comprendre des espèces-outils aptes à piéger les matériaux érodés. *A priori*, elle doit associer des herbacées et des buissons couvrant le sol.

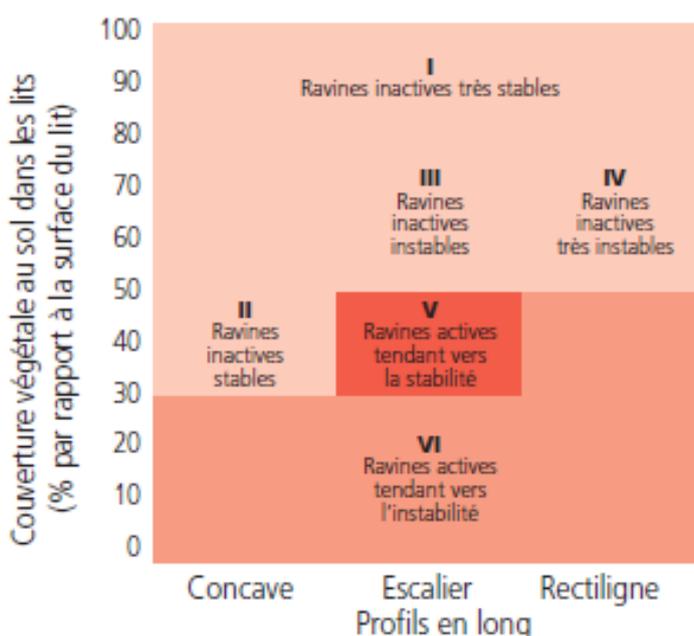
A titre d'illustration, pour les Alpes du Sud françaises, une typologie des ravines a été proposée par Irstea afin d'identifier celles dont le traitement par génie biologique ou civil est prioritaire. Cette typologie permet de distinguer six types de ravines, selon le pourcentage de surface de lit végétalisé et la forme du profil en long de la ravine.

Figure 11. Exemple de typologie des ravines en fonction du taux de couverture végétale et de la forme du profil en long

(Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Sud françaises, 2012)

Pour plus de détails techniques sur la technique, on se référera à l'annexe 3 :

- Fiche 5 : Travaux de correction de petites ravines par garnissage.



Pour la revégétalisation des versants stables et/ou peu pentus du Grand Sud, nous renvoyons vers l'ouvrage de référence en la matière : L'Huillier L., Jaffré T., Wulff A., 2010. *Mines et Environnement en Nouvelle-Calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration*, IAC Editions. Quelques éléments de cet ouvrage sont rappelés ici.

Tout d'abord, les auteurs rappellent que les méthodes appropriées pour la revégétalisation des sites dégradés varient selon les situations envisagées. Celles-ci reposent sur une connaissance des caractéristiques physico-chimiques des terrains et matériaux à revégétaliser, ainsi que des conditions climatiques et microclimatiques du site. La connaissance des groupements végétaux et des espèces de la zone impactée et de ses alentours guidera le choix des espèces végétales à utiliser.

Les expérimentations les plus récentes se fondent sur la méthode suivante : utiliser une diversité d'espèces du maquis minier permettant de lutter de manière complémentaire contre l'érosion du sol, de fixer celui-ci en profondeur et d'améliorer sa fertilité afin de faciliter l'implantation d'espèces végétales plus exigeantes, d'augmenter le couvert végétal et d'accroître la diversité végétale offrant ainsi davantage de résilience.

Afin de mettre en œuvre cette méthode, les auteurs formulent notamment les recommandations suivantes :

- utiliser des espèces végétales indigènes, gages d'adaptation aux contraintes du milieu ;
- utiliser des espèces végétales pionnières ou secondaires du fait de leurs faibles exigences nutritives et de leur rôle dynamisant sur la succession végétale ;
- diversifier les espèces végétales afin de bénéficier de leurs complémentarités (ex. : systèmes racinaires différents, litière diversifiée, résilience à diverses pressions) ;
- éviter les espèces exotiques pouvant nécessiter des apports importants d'intrants et présenter une capacité invasive (ex. : *Pinus caribaea*) ;
- privilégier la multiplication sexuée des plantes, du fait notamment des facilités de stockage des graines ou encore de leur diversité génétique ;
- préparer les substrats à végétaliser (ex. : décompaction préalable, reprofilage, apport de topsoil) où le processus naturel de recolonisation végétale n'a pas lieu ;
- combiner les techniques de régénération naturelle, d'ensemencement et de plantation pour améliorer les succès de la revégétalisation ;
- assurer un suivi des opérations de revégétalisation pour évaluer leur succès.

En compléments des éléments techniques largement développés dans l'ouvrage précité, quelques techniques de génie biologique, employées ou envisageables sur terrains stables et érodables, sont présentées en annexe à l'aide des fiches techniques. Certaines d'entre elles sont issues de travaux de recherche ultérieures à 2010 développés en Nouvelle-Calédonie.

- Fiche 6 : Traitement de versants peu pentus et/ou stables par cordons ou boudins (en fibre de coco) ;
- Fiche 7 : Utilisation des top-soils ;
- Fiche 8 : Restauration des latérites compactées par ingénierie écologique ;

Tableau 12. Synthèse des principaux travaux de génie biologique pour la restauration hors plantation

	Fiche technique 4 à 8	Objectif	Ouvrage	Contraintes de mise en œuvre
Terrains instables et zones de forte pente	Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie biologique (fiche 4)  <i>Figure 12. Exemple de fascines</i>	O : Stabiliser les pentes des talus et versants pour permettre la réinstallation de la végétation Site de référence en NC : pas de référence connue sur site minier	Type : Fascines (bouture en fagot derrière les pieux), clayonnages (boutures tressées autour des pieux), palissades (barrière de pieux et boutures implantées verticalement) Matériaux : Pieux en bois et boutures de jeunes rameaux (diamètre maximum de l'ordre de 7 cm)	Le choix des espèces : celles -ci doivent être parfaitement appropriées aux conditions locales de sol et de climat, donc susceptibles de prospérer et de se propager. La pérennité de l'ouvrage est directement dépendante de la reprise et du matériel bouturé dans le sol, utiliser du bois mort n'est pas une solution de long terme mais l'atterrissement crée peut-être favorable au bouturage post implantation.
Terrains stables et érodables <i>Pour les petites ravines inférieures à 1 ha mais > 0,1 ha</i>	Travaux de correction de petites ravines par garnissage (fiche 5)  <i>Figure 13. Exemple de reprise de boutures par garnissage après une saison</i>	O : lutter contre l'érosion par fixation des sols et par protection contre les agents érosifs Site de référence en NC : pas de référence connue sur site minier	Type : Bouturage et possibilité de réaliser de petits seuils pour disposer de matériaux meubles propice à l'installation des boutures Matériaux : tapis de végétaux, plants, boutures ou branches tournées vers l'amont, plaqués au sol dans le lit des ravines ou sur les versants, et recouverts de terres	Disponibilité du matériel végétal Substrat meuble en place (l'atterrissement d'un petit seuil sera à priori nécessaire notamment en NC) Maitrise de la capacité de reprise des boutures du panel d'espèces existant

<p style="text-align: center;">Terrains stables et érodables Pour les versants</p>	<p>Traitement de versants peu pentus et/ou stables par cordons ou boudin (fiche 6)</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figure 14. Exemple de cordon pierreux (la Coulée)</i></p>	<p>O : lutter contre l'érosion diffuse due au ruissellement et permettre la revégétalisation</p> <p>Site de référence en NC : La coulée (cordons pierreux et herbacés)</p>	<p>Type : Cordons installés perpendiculairement à la pente et selon les lignes de niveau.</p> <p>Ceux-ci peuvent être végétalisés ou bouturés</p> <p>Matériaux : Pierres, boudins en fibre de coco, géo-textiles, etc.</p>	<p>Disponibilité du matériel (pierres à proximité).</p> <p>Disposition des éléments en élévation par rapport au terrain naturel, plutôt qu'en décaissement (colmatage rapide de la dépression).</p> <p>Une implantation avec une légère inclinaison vers l'aval est généralement recommandée.</p>
<p style="text-align: center;">Terrains stables et érodables Pour les versants</p>	<p>Utilisation des topsoils (fiche 7)</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figure 15. Exemple de topsoil étalé avant revégétalisation</i></p>	<p>O : favoriser l'implantation et le développement de plantes</p> <p>Site de référence en NC : Goro</p>	<p>Type : Ajout de topsoil sur les surfaces à planter</p> <p>Matériaux : Topsoil et engins</p>	<p>Accès au Topsoil qui est généralement uniquement disponible sur mine et après décapage des premiers horizons.</p> <p>Conservation des propriétés du topsoil dans le temps lors de son entreposage avant utilisation (voir recommandations du guide TOPSOIL (CNRT)).</p> <p>Maitrise des techniques de réactivation du Topsoil.</p>

Restauration des latérites compactées par ingénierie écologique (fiche 8)

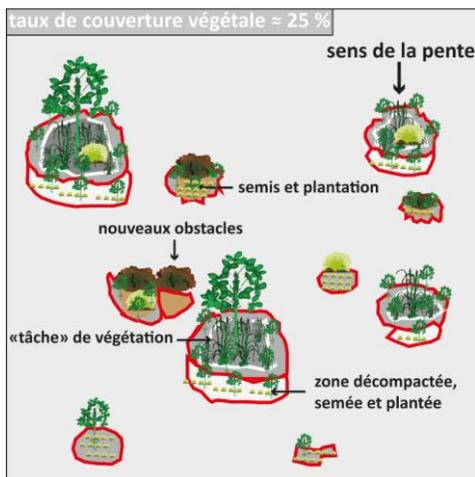


Figure 16. Schéma d'action de restauration en vue de lever le seuil abiotique fixé à 25% de couverture végétale

O : favoriser l'implantation et le développement de plantes sur latérites compactées et ainsi permettre leur restauration (levée du seuil abiotique)

Site de référence en NC :
pas de référence connue sur site minier – concept sur base de la Thèse de Julien Demenois en 2017.

Type : travail superficiel du sol (décompactage), utilisation de la microtopographie, fixer les sols grâce au système racinaires.

Matériaux :
Décompactage (engins) et semis mycorhizé

Obstacles naturels pour freiner le ruissellement (ex : blocs de cuirasse)

Plantation d'espèces ligneuses associées à des mycorhizes avec un système racinaire en pivot.

Travail de réflexion important d'analyse du site et de planification d'opérations diverses (cartographie détaillée nécessaire)

Interprétation peut être difficile des plans de travaux par les opérateurs de terrain nécessitant un suivi technique des opérations important

- **Limites aux techniques de génie biologique**

Afin de réduire les impacts environnementaux de l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie, des actions de revégétalisation visant à remettre en place un couvert végétal, et ainsi limiter l'érosion des sols, ont été développées depuis les années 1970. Au cours de ces quarante dernières années, les méthodes et pratiques de revégétalisation ont largement évolué pour s'inscrire depuis le début des années 2000 dans une démarche de restauration écologique. Cette évolution résulte en partie d'une meilleure appréhension des traits d'histoire de vie de certaines espèces de plantes locales, ainsi que de la volonté d'accroître la résilience des milieux restaurés.

Toutefois, l'utilisation du génie biologique sur substrats ultramafiques en Nouvelle-Calédonie, et dans le grand Sud en particulier, nécessite de faire face à des contraintes, faisant de celle-ci un véritable défi :

- les modifications profondes des conditions du milieu par l'exploitation minière mécanisée (ex. : décapage, déblaiement) faisant franchir des barrières biotiques et abiotiques ;
- les carences en éléments nutritifs (ex. : phosphore, potassium et calcium) pour les plantes des sols sur substrats ultramafiques et *a contrario* les teneurs excessives en magnésium, d'où un rapport Ca/Mg faible et des vitesses de croissance des végétaux très lentes ;
- la présence de métaux biodisponibles (ex. : nickel, manganèse, chrome, cobalt) potentiellement toxiques pour les plantes ;
- l'hétérogénéité importante des conditions environnementales (ex. : pédologie, altitude, exposition) ;
- la grande diversité floristique, le fort taux d'endémisme et le micro-endémisme spécifique à la Nouvelle-Calédonie.

Pour contribuer à relever ce défi, les travaux de recherche en écologie microbienne des sols sur substrats ultramafiques de Nouvelle-Calédonie se sont développés ces dernières années (ex. : travaux de recherche de l'IAC, de l'UNC, du Cirad et de l'IRD). De par leurs caractéristiques fonctionnelles, les champignons et les bactéries pourraient jouer un rôle clé dans la restauration des sols dégradés. L'objectif est d'optimiser l'utilisation des micro-organismes dans les processus de restauration écologique des sites miniers afin de contribuer à lever les barrières biotiques.

Par ailleurs, pour ce qui est des ouvrages de génie biologique à base de boutures (fascines, clayonnage, garnissage), leur utilisation doit se faire avec prudence à l'aval de surfaces trop importantes (bassin versant >1 ha), car les contraintes hydrologiques peuvent être trop fortes et déchausser les ouvrages. Dans de telles situations, le recours au génie civil est préconisé. L'utilisation du génie biologique est à proscrire dans les ravines trop petites (< 0,1 ha), car ces ravines présentent un impluvium trop faible qui ne permettra pas une concentration suffisante des eaux pour alimenter les plants ou les boutures.

De plus, la réalisation d'ouvrages de génie biologique (ex. : fascines, clayonnage, garnissage) nécessite de disposer d'espèces végétales qui se prêtent au bouturage. Sur ce point, L'Huillier et *al.* (2010) soulignent que les techniques de multiplication végétative sont sous-utilisées pour la restauration des sites miniers en Nouvelle-Calédonie. Les raisons principales avancées sont :

- le manque de références locales anciennes ;
- la nécessité d'infrastructures plus lourdes et plus coûteuses que celles utilisées pour la multiplication sexuée ;
- la volonté de maintenir une importante diversité génétique intra-spécifique dans les plans de revégétalisation

On soulignera toutefois que les 1^{ers} essais significatifs de multiplication végétative en vue de la réhabilitation d'anciennes mines en Nouvelle-Calédonie ont été entrepris dans les années 1980 et poursuivis dans les années 1990. En 2010, L'Huillier et *al.* (2010) estimaient que plus de 100 espèces végétales de maquis minier pouvaient aisément se multiplier par bouturage et près de 40 espèces avaient un potentiel en revégétalisation.

Chapitre 4 Méthodologie de priorisation des sites dégradés pour la restauration écologique

1 APPROCHE GENERALE

Pour atteindre les objectifs repris au chapitre 2 et contribuer efficacement à l'atteinte des objectifs généraux, l'opérateur RESCCUE après validation du COTECH a scindé l'approche méthodologique d'identification des zones prioritaires d'intervention en deux parties. Cela permet i) d'éviter de mettre en débat des réflexions relatives à l'importance relative de la gestion de la biodiversité par rapport à la problématique d'érosion des sols (cela révélera toujours un caractère subjectif), ii) de conserver une approche sectorielle d'importance d'un point de vue institutionnel tout en conservant une capacité de prioriser en croisant les intérêts des secteurs.

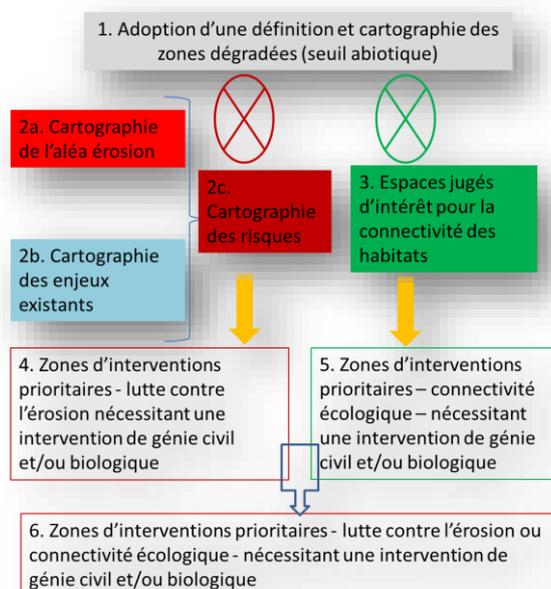


Figure 17. schéma de l'approche méthodologique globale utilisée pour l'identification des zones d'interventions prioritaires.

L'évaluation du risque naturel repose généralement sur le croisement des aléas et des enjeux tel que présenté dans la figure ci-dessous.

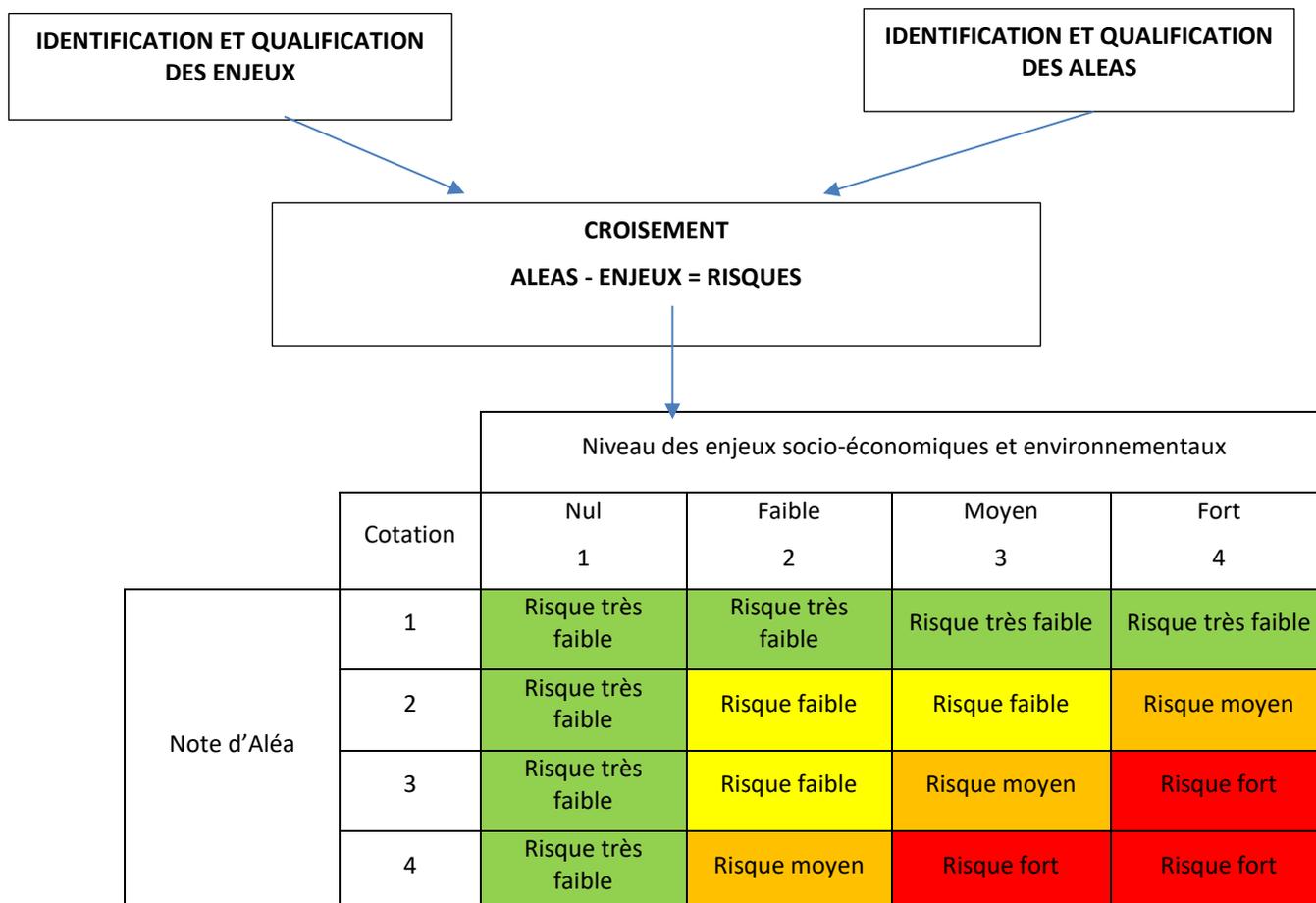


Figure 18. schéma d'approche généralement utilisée pour l'analyse du risque naturel

2 ADOPTION D'UNE DEFINITION DES ZONES DEGRADEES

La première étape de ce travail consiste à identifier l'ensemble des sites dégradés à l'échelle du site pilote. Pour ce faire il est important de revenir sur la notion de « site dégradé » et de la définir précisément.

A l'échelle du site pilote RESCCUE, les travaux bibliographiques menés dans le cadre du projet Dynamique (Birbaum et al., 2017), ont mis en lumière que le paysage actuel du Grand Sud résulte d'une dégradation brutale, relativement récente (150 dernières années) des écosystèmes forestiers. Cette dégradation a donné naissance au paysage actuel composé de petits fragments forestiers inférieurs à 2 km², inclus dans une matrice de maquis d'origine anthropique. Aujourd'hui il est donc considéré par ces auteurs que tout site non forestier est un site dégradé. En d'autres termes, les sites dégradés ne se limiteraient pas aux sols nus présents dans le secteur mais à l'ensemble des formations non forestières à l'exception du plateau ferrallitique de Goro où un milieu ouvert était naturellement présent.

La baisse du taux de couverture végétale de 80 % à 20 % entre un maquis ligno-herbacé et un maquis ligno-herbacé dégradé entraîne une augmentation significative de la sensibilité à l'érosion (Demenois 2017). En diminuant la couverture végétale, un seuil biotique (Hobbs and Harris 2001) entre les maquis ligno-herbacés dégradés et les maquis ligno-herbacés serait franchi (Demenois 2017). Les feux répétés seraient la cause principale du franchissement de ce seuil qui in fine limite le développement de la végétation (Jaffré et al. 1998). Ainsi, le taux de couverture végétale minimum nécessaire pour limiter l'érosion hydrique pourrait se situer entre 25 et 70 % (Demenois 2017). Ces valeurs seraient cohérentes avec celles mentionnées par Vennetier et al. (2014). Ces auteurs soulignent qu'un recouvrement de 30 % réduit déjà significativement l'agressivité du ruissellement et parfois très fortement l'entraînement de particules. Par ailleurs, ils rappellent que les résultats expérimentaux montrent qu'un recouvrement de 70 % limite la mobilisation des particules de sols et les pièges à proximité immédiate, presque aussi bien qu'un couvert complet.

Par ailleurs, la mise à nue, partielle ou totale, du sol serait propice à sa compaction, du moins superficielle, par effet « splash » provoqué par les gouttes de pluie (Demenois 2017). Si la sensibilité à la compaction d'un sol est un phénomène complexe et multifactoriel, dont les causes sont largement méconnues pour ce qui est des Ferralsols sur substrats ultramafiques (Bourdon et al. 1994), un faisceau d'indices convergents attesterait de leur sensibilité (masse volumique, micro-porosité, bactéries anaérobiques) (Demenois 2017). La compaction du sol constitue un seuil abiotique qui limite fortement l'installation et la croissance de la végétation dans les maquis ligno-herbacés dégradés. En effet, les effets négatifs de la compaction des sols sur la croissance des plantes ont été largement mis en évidence (Batey 2009; Harper et al. 1965; Kozłowski 1999) et limiteraient les possibilités de reconstituer un couvert végétal. Cette compaction rendrait la germination, la survie et la croissance des plantes d'autant plus difficile. Elle constituerait d'une part une barrière physique à la pénétration de la racelle dans le sol puis au développement des autres racines, et d'autre part elle altérerait la porosité des sols, et donc l'approvisionnement en eau et les échanges gazeux indispensables aux plantes.

La combinaison de la diminution de la couverture végétale et de l'augmentation de la compaction du sol qui en résulte, limite, voire empêche, le développement de la végétation (Demenois 2017). Le passage répété des feux serait ainsi la cause principale du franchissement d'un seuil biotique (e.g. taux de couverture végétale) puis abiotique (e.g. compaction du sol) (Hobbs and Harris 2001) entre les maquis ligno-herbacés dégradés et les maquis ligno-herbacés, limitant la capacité de résilience des maquis ligno-herbacés dégradés. Ainsi, un mécanisme en « cercle vicieux » (cf. Figure 2) serait instauré, nécessitant des actions de restauration écologique pour le rompre et franchir ces seuils (Demenois 2017).

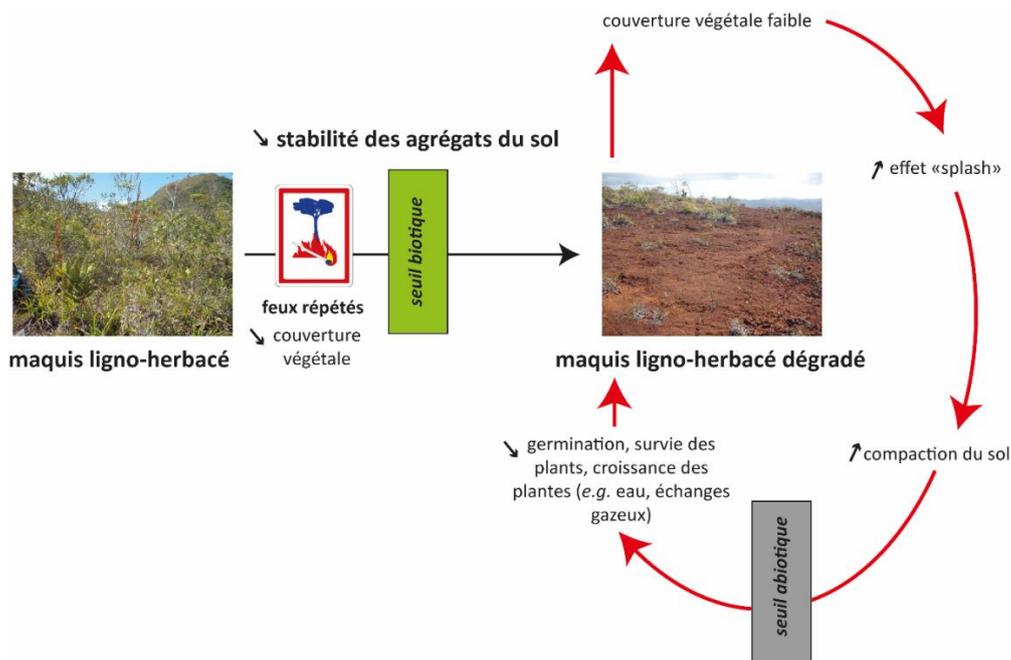


Figure 19. Illustration du mécanisme en « cercle vicieux » et des seuils biotique et abiotique entre le maquis ligno-herbacé et le maquis ligno-herbacé dégradé par les passages répétés du feu (Demenois 2017)

Sur cette base, les maquis ouverts de la cartographie de la végétation (couche « Milieu Naturel ») ont été considérés comme des surfaces dégradées nécessitant potentiellement une restauration pour les raisons précitées tandis que les maquis ligno-herbacés sur pentes érodées en ont été exclus du fait de leur taux de couverture végétale élevé (>70 %).

Pour fonder cette couche cartographique nouvelle, des éléments vectoriels des couches « milieu naturel », « maquis » et de la dernière version du modèle d'occupation des sols (MOS 2014) ont été utilisés en plus du réseau de route et pistes de la base topographique. De la couche milieu naturel, ce sont les polygones de maquis ouvert et de sol nus qui ont été extraits. De la couche maquis, l'ensemble des polygones relatifs à des maquis ouverts ont été extrait. De la couche MOS, ce sont les éléments sols nus et roches et les sites miniers et industriels qui ont été utilisés (voir annexe 5 pour le détail du traitement cartographique et la hiérarchisation de l'information).

Au final l'ensemble des couches mentionnées dans le tableau ci-dessous a été retenue pour identifier les surfaces dégradées et créer la couche attenante.

Tableau 13. composantes d'entrée et de sortie de la couche « Surfaces dégradées »

	Justification	Définition	Données d'entrée/format/source	Données de sortie
Identifier et caractériser les surfaces dégradées du Grand Sud	Les actions de restauration concernent notamment les surfaces dégradées	Sont considérées comme dégradées, les surfaces suivantes : <ul style="list-style-type: none"> Les surfaces dégradées par la mine mais non exploitées Les maquis ouverts Les zones de sol nu 	<ul style="list-style-type: none"> Périmètre RESCUE GRAND SUD/shape/BioEko DONNEE MILIEU NATUREL/shape/www.oeil.nc/fr/geoportail et/ou DONNEE MAQUIS/shape/www.oeil.nc/fr/geoportail DONNEE Mode d'Occupation du Sol 2014/shape/www.oeil.nc/fr/geoportail DONNEE_BD TOPO RASTER 10/raster/www.georep.nc 	Un shapefile comprenant 5 catégories : <ol style="list-style-type: none"> Routes et pistes entretenues Zones minières ou industrielles (en attente ou en activité) Anciennes pistes Sols Nus Maquis ouvert bloqué

En ce qui concerne les surfaces incendiées, les surfaces issues de la couche « surfaces brûlées » (MODIS4), n'a pas été retenue pour dessiner le contour des surfaces dégradées du fait que ces zones sont déjà identifiées au travers l'utilisation de la couche « maquis » ou « milieu naturel ». En effet, les conséquences de ces feux sont la transformation du couvert végétal avec notamment l'ouverture de celui-ci. Il nous est apparu plus judicieux d'appréhender ces zones au travers leur couverture végétale résultant des incendies que sur la base de la simple délimitation de celles-ci.

3 EVALUATION DU RISQUE NATUREL

3.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « EROSION » :

Parmi les risques naturels existants en Nouvelle-Calédonie, on ressent :

1. L'érosion des versants ;
2. Les lavakas et les ravines;
3. Les glissements de terrain ;
4. Les inondations, laves torrentielles et coulées de débris ;
5. Les chutes de blocs ;
6. L'érosion littorale.

Sera considéré dans la présente méthodologie l'érosion des versants uniquement pour les raisons suivantes :

- Le modèle de sensibilité à l'érosion utilisé ci-dessous pour évaluer l'aléa intègre les facies de type lavakas et ravine notamment à travers les niveaux de pentes, la longueur de pente et l'absence de couverture végétale de ces milieux.
- Les glissements de terrain importants (non-superficiels) ont été partiellement cartographiés à l'échelle de Nouvelle-Calédonie par le BRGM de 1998 à 2006 (Zone de Dumbea-Paita, Zone de Poembout, Zone de Koné, Zone de la Tontouta, Zone de Touho-Poindimié, Zone de Thio, Zone de Goro Zone de Koniambo, Zone de Yaté et quelques glissements éparpillés menaçant des zones urbanisées) (DIMENC, 2018)³. Les glissements sur péridotites et décrits par le BRGM ont des dimensions hectométriques à pluri-hectométriques, les masses instables atteignant le million de m³. La taille même de ces unités glissées devrait être dissuasive de tout aménagement, ce sont des objets non maîtrisables en termes de confortement (Maurizot, 2003). Un travail de mise à jour sur les glissements de terrain est actuellement en cours au niveau de la DIMENC et appuyé par le BRGM.
- Les inondations et plus largement les laves torrentielles et coulées de débris sont des phénomènes qui impactent principalement le lit des torrents, les zones inondables ou les enjeux installés sur les cônes de déjection. Une couverture végétale des versants permet un ralentissement des écoulements et une augmentation de l'infiltration qui font retarder le pic de crue en cas d'évènement pluvieux extrême et augmente le seuil de déclenchement des laves. A défaut de données précises et complètes (bassin versant sensibles aux inondations et laves torrentielles), on fait l'hypothèse que la problématique en lien avec la restauration écologique est couverte à travers la caractérisation des surfaces dégradées et l'évaluation de l'aléa « érosion des versants » ce qui ne devraient pas empêcher le gestionnaire d'adopter une politique du risque en procédant notamment au développement systématique de Plan de Prévention des Risques naturels (PPR) impactant les choix d'aménagement du territoire en particulier l'urbanisation.

Quelques coulées de débris et laves torrentielles ont été recensées par le BRGM notamment sur Dumbea (mine Koé et Mont Koghi), Yaté (parc de la Rivière bleue), Poya (Massif du Mé Maoya), etc. (Maurizot, 2003).

- La forêt joue un rôle non négligeable de protection des enjeux face aux chutes de blocs en stoppant ou ralentissant ces derniers. Vu la faible anthropisation de la Nouvelle-Calédonie, quelques cas de chute de blocs ont été répertoriés mais n'ont pas fait l'objet d'une base de données à notre connaissance. Cela serait

³ <https://dimenc.gouv.nc/geologie/les-risques-naturels>

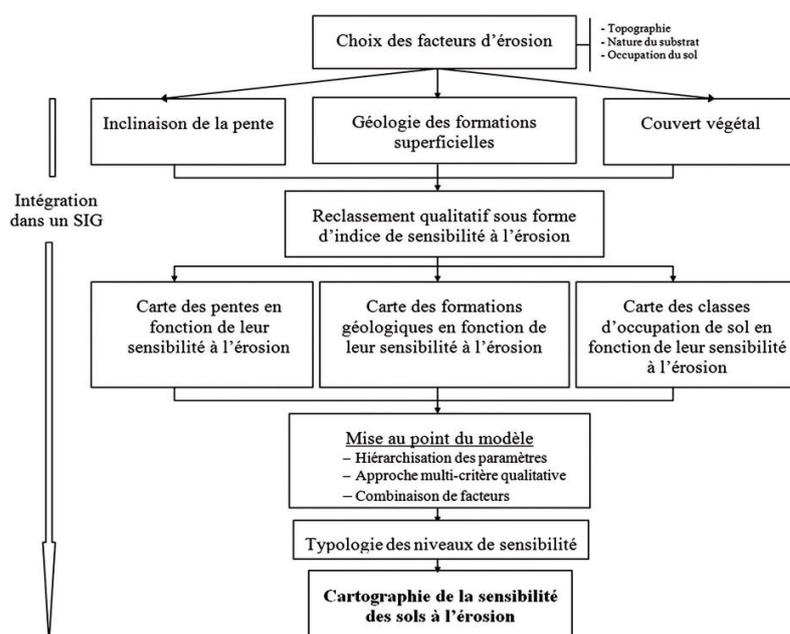
utile dans le cadre de la prévention des risques naturels et dans l'hypothèse d'un effort de mise en place de forêts de protection.

L'aléa « érosion » que nous prenons donc ici en compte, a été caractérisé à l'aide du travail effectué par P. Dumas de l'UNC sur la potentialité de perte en sol (Dumas, 2010 et 2014). Ce travail est basé sur le modèle RUSLE. Ce dernier intègre dans sa conception les paramètres suivants :

- l'inclinaison et la longueur de la pente ;
- l'agressivité des précipitations ;
- l'érodabilité des sols ;
- l'occupation du sol ou couvert végétal.

Le schéma ci-contre illustre la méthodologie employée pour l'élaboration de la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion (Dumas, 2010). La sensibilité à l'érosion du couvert végétal a été approchée par cet auteur en regroupant les formations végétales en fonction de leur taux de recouvrement (dense, clairsemée, sols nus). La hiérarchisation a été réalisée en attribuant une valeur d'érodabilité aux différentes classes d'occupation du sol. Sur la base de ces valeurs des regroupements ont été fait par l'auteur pour obtenir une information qualitative du degré de protection de l'occupation du sol dans le processus érosif (cf. tableau ci-dessous).

Figure 20. Schéma de traitement cartographique sur base du modèle RUSLE



La catégorisation en quatre classes de la perte potentielle en sol définie par Dumas (2015) est la suivante :

- 0 à 12 t/ha/an : faible sensibilité à l'érosion ;
- 12 à 50 t/ha/an : sensibilité à l'érosion moyenne ;
- 50 à 150 t/ha/an : forte sensibilité à l'érosion ;
- > 150 t/ha/an : très forte sensibilité à l'érosion.

La réduction d'un millimètre de sol correspond à une perte en sol de l'ordre de 5 tonnes par demi-hectare (Ypsilantis W.G., 2011). Une perte en sol de 50 tonnes/ha/an correspondrait donc plus ou moins à une perte en sol de 5 mm par an, le modèle RUSLE pour la Calédonie semble renvoyer de manière générale des valeurs très élevées.

Le manuel de l'évaluation des pertes en sol canadien (RUSLE-CAN) propose une évaluation du risque selon 5 classes.

Tableau 14. Lignes directrices pour évaluer les classes de risque d'érosion du sol (WALL et al., 2002)

Érosion des sols	Perte en sol possible	
	tonnes/hectare/année	tonnes/acre/année
1 Très faible (c.-à-d. tolérable)	< 6	< 3
2 Faible	6 - 11	3 - 5
3 Modérée	11 - 22	5 - 10
4 Élevée	22 - 33	10 - 5
5 Grave	> 33	> 15

Pour se donner une idée et sans faire de comparaison directe⁴, le dispositif Hydromine de Pöröö (Poro) situé sur un sol minier ultramafique sans couverture végétale avait mis en évidence un flux moyen de sédiment, à l'exutoire de petits bassins versants, de 2,34 t/ha/an sans la prise en compte d'un évènement majeur et de 6,45 t/ha/an avec la prise en compte de cet évènement pour une période de suivi de 4 années (Hydromine, 2014)

Au regard de ces appréciations et nomment du fait de l'hypothèse d'une surestimation généralisée de la perte en sol⁵, on fait correspondre les quatre classes de Dumas (2015) à un niveau d'aléa tel que repris dans le schéma d'évaluation du risque proposé à la figure 18:

- 0 à 12 t/ha/an : faible sensibilité à l'érosion = niveau 1
- 12 à 50 t/ha/an : sensibilité à l'érosion moyenne = niveau 2
- 50 à 150 t/ha/an : forte sensibilité à l'érosion = niveau 3
- > 150 t/ha/an : très forte sensibilité à l'érosion = niveau 4

3.2 CARTOGRAPHIE DES ENJEUX

Les enjeux vulnérables à la problématique de l'érosion sont les captages d'eau, les infrastructures humaines, les terres ayant une vocation de développement soutenable, le lagon (hyper-sédimentation) en particulier les parties du lagon où des activités de pêche sont exercées, les zones de biodiversité dulçaquicole ou marine remarquable.

Les enjeux ont été classés en 5 types :

1. Eau ;
2. Infrastructures humaines ;
3. Développement durable ;
4. Pêche côtière ;
5. Biodiversité.

Un niveau de vulnérabilité (faible (1), moyen (2), fort (3), très fort (4)) été proposé pour chaque sous-type d'enjeu. Ceux-ci ont été discutés et validés lors du troisième COTECH. Les échanges et la réflexion partagée a amené l'évaluation de la vulnérabilité à prendre en compte, pour l'ensemble des bassins versants concernés, l'enjeu lagon du fait de son hyper-sédimentation actuelle et d'augmenter la vulnérabilité associée aux bassins de captage AEP du fait de leur intérêt majeur pour le bien commun (voir annexe 2 pour plus de détail) :

⁴ Les valeurs observées sur Pöröö (Poro) sont des flux de sédiments d'un bassin versant et ne peuvent être comparés directement avec une quantité de sol potentiellement érodée sur les versants de ce bassin étant entendu que les matières en suspension sédimentent à divers endroits le long d'une pente.

⁵ On fait l'hypothèse d'une surévaluation généralisé du facteur lié à la végétation (facteur C dans le modèle) et qui se répercute sur l'ensemble des sites ouverts. Cette couche peut donc être utilisée pour l'objectif de caractérisation de l'aléa « érosion ».

Tableau 15. Vulnérabilité des enjeux adoptée

Type d'enjeux	Enjeux	Niveau de vulnérabilité	Justification
Eau	Captage Industriel	1	Les bassins versants alimentant le captage industriel de Vale-NC ont été retenus du fait de l'existence d'une hypersédimentation (avec un risque potentiel futur de colmatage du réservoir). L'ouvrage s'adressant à un usager unique, un niveau de vulnérabilité faible a été affectée.
Eau	Captage privé	1	Seul le privé est impacté. Le bassin versant est considéré et un niveau de vulnérabilité faible est affecté.
Eau	Captages de surface AEP	4	Toute la population directement impactée – service éco systémique important. Le bassin versant est considéré et un niveau de vulnérabilité très fort est affecté.
Eau	Captages–forage AEP	4	Toute la population directement impactée – service éco systémique important. Le bassin versant est amont est considéré, de même qu'un espace de 1000 m autour du point de captage. Un niveau de vulnérabilité très fort est affecté.
Eau	Source	3	Toute la population pourrait être impactée dans un futur proche si une valorisation voulait être effectuée – milieu sensible. Le bassin versant amont est considéré, de même qu'un espace de 1000 m autour du point de captage. Un niveau de vulnérabilité fort est affecté.
Eau	Le lagon	1	Hyper-sédimentation du lagon - Un niveau de vulnérabilité faible a été affecté partout du fait que sa traduction cartographique se répercute uniformément à l'ensemble des bassins versants considérés.
Infrastructures humaines	Habitats, tissus urbains, bâtiments publics	3	Les enjeux sont les infrastructures humaines. Des phénomènes d'érosion proche pourraient mettre en danger ces infrastructures dans le futur. On appliquera donc en supplément un buffer de 50m autour de chaque surface d'enjeu considérée. Un niveau de vulnérabilité fort a été affecté étant donné que ces infrastructures régissent la vie quotidienne de nombreux citoyens.
Développement durable	Terres arables, pastorales et sylvicoles	2	Enjeux importants si une politique de diversification et de développement durable est soutenue – zones agricoles et de développement sylvicole. Un niveau de vulnérabilité moyen a été affecté étant donné que ces infrastructures régissent la vie quotidienne de nombreux citoyens.
Pêche	Pêche côtière réalisée par les tribus	1	Les tribus du grand sud tirent parti de la pêche lagonaire dont les récifs peuvent souffrir particulièrement d'un afflux de matière en suspension (asphyxie des coraux). On considérera donc les bassins versants qui se jettent dans le lagon Est – à proximité des tribus et on leur affectera un niveau d'enjeu faible tout en gardant à l'esprit que dans le cadre de l'agrégation des enjeux il se cumulera à celui lié à l'enjeu lagon (hypersédimentation). Certains bassins sont également très grand en terme de surface.

Type d'enjeu	Enjeux	Niveau de vulnérabilité	Justification
Biodiversité	Aires protégées et réserves naturelles	3	Protection intégrale faisant partie des cœurs de biodiversité. Un niveau de vulnérabilité fort a été affecté étant donné qu'il s'agit d'écosystèmes majeurs à conserver.
Biodiversité	Ramsar, KBA, IBA	1	Zones parfois étendues pouvant jouer la connectivité – la priorisation sur ces sites sera renforcée par la partie « identification des zones d'intervention prioritaires pour la conservation de la biodiversité ». Un niveau de vulnérabilité fort a été affecté étant donné qu'il s'agit d'écosystèmes majeurs à conserver.
Biodiversité	Grand lagon Sud (UNESCO)	1	Considérer la zone tampon terrestre. On leur affectera un niveau d'enjeu faible tout en gardant à l'esprit que dans le cadre de l'agrégation des enjeux il se cumulera à celui lié à l'enjeu lagon (hypersédimentation et pour certain à l'enjeu « pêche côtière »)
Biodiversité	AMP	2	Considérer les bassins versants qui se jettent dans l'AMP On leur affectera un niveau d'enjeu moyen tout en gardant à l'esprit que dans le cadre de l'agrégation des enjeux il se cumulera à celui lié à l'enjeu lagon (hypersédimentation), l'enjeu Grand Lagon Sud (UNESCO) et pour certain à l'enjeu « pêche côtière »)

Une carte par type d'enjeu sera produite ainsi qu'une carte globale soit 6 cartes. Pour l'agrégation des niveaux de vulnérabilité des enjeux, les modalités suivantes sont utilisées :

1. Au sein d'un même type d'enjeu, on n'additionnera pas les valeurs, on prendra la valeur maximale existante étant donné le fait que les enjeux en question sont de même nature et que pour certains types d'enjeu, les sous-types sont nombreux et peuvent se chevaucher les uns les autres (exemple : enjeu biodiversité).
2. Pour prendre en compte simultanément les différents types d'enjeu et disposer d'une carte unique nécessaire à l'évaluation du risque, on additionne les valeurs de vulnérabilité affectées aux types d'enjeux sans restriction jusqu'à une valeur maximale de 4. On conservera, à titre indicatif et afin de ne pas perdre l'information pour un choix éventuel futur, dans 6 autres colonnes du même fichier l'information relative à la vulnérabilité par type d'enjeu ainsi que la somme de ces valeurs.

3.3 ANALYSE DU RISQUE « EROSION »

Le croisement de la carte des enjeux avec la carte de l'aléa érosion permettra d'évaluer le risque d'érosion.

A partir des données précédentes, on produit une carte des risques. Pour faire cela, il faut :

1. calculer pour chaque pixel de 10 m x 10m le niveau d'aléa. Pour cela, on calcule la valeur de l'aléa considéré (valeur maximale de niveau d'aléa = 4)
2. calculer pour chaque pixel de 10 m x 10m le niveau d'enjeu. Pour cela, on calcule la valeur des enjeux considérés (valeur maximale de niveau d'enjeu = 4)
3. calculer pour chaque pixel de 10 m x 10m le niveau de risque. Pour cela, on multiplie les valeurs d'aléa et d'enjeu
4. on distingue 4 niveaux de risques à partir de la valeur obtenue en à l'étape 3 : Très faible = 1 à 4, 5 à 8 risque faible, 9 à 12 risque moyen et 13 à 16 risque fort.

3.4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION D'UN POINT DE VUE DE LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION

On croise ensuite la cartographie du risque avec la carte des sites dégradés en prenant en compte uniquement les anciennes pistes, les sols nus et les maquis ouverts bloqués étant donné que les autres types de sites dégradés font l'objet d'une exploitation et d'une gestion appropriée et ne peuvent être considérés comme sites potentiellement réhabilitables.

D'un point de vue purement cartographique, les sites les plus prioritaires d'un point de vue du risque érosif à l'échelle du territoire sont ceux dont le niveau de risque est le plus important et qui sont situés sur des espaces dégradés où il est à priori envisageable d'intervenir.

4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION D'UN POINT DE VUE DE LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE

Après avoir défini la notion de « surfaces dégradées » (seuil abiotique) et avoir fait l'évaluation du risque lié à l'érosion (cheminement premier de la figure 17), il est ensuite assez simple de mettre en évidence les espaces de la trame verte et bleue qui sont fragmentés par les surfaces dégradées.

La trame verte et bleue (TVB) est une démarche qui vise à maintenir et à reconstituer un réseau d'échanges pour que les espèces animales et végétales puissent circuler, s'alimenter, se reproduire, se reposer... et ainsi assurer leur cycle de vie. La TVB vise à enrayer la perte de biodiversité, en préservant et en restaurant des réseaux de milieux naturels qui permettent aux espèces de circuler et d'interagir. Ces réseaux d'échanges, appelés continuités écologiques, sont constitués de réservoirs de biodiversité reliés les uns aux autres par des corridors écologiques.

La TVB inclut une composante verte qui fait référence aux milieux naturels et semi-naturels terrestres et une composante bleue qui fait référence aux aquatiques et humides (fleuves, rivières, canaux, étangs, milieux humides,...) Ces deux composantes forment un ensemble destiné à assurer le bon état écologique d'un territoire.

La fragmentation des écosystèmes terrestres a été matérialisée à l'aide de la couche « surface dégradées ». Parmi les surfaces dégradées, seules les anciennes pistes, les sols nus et les maquis ouverts bloqués seront considérés et intersectés avec la TVB. En effet, des surfaces de dégradation sont actuellement occupées par certains usages (mines, carrières, routes et pistes usitées).

5 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION CROISEE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour le gestionnaire, la gestion de l'espace naturel par bassin versant est de mise notamment lorsque l'on travaille sur des aspects liés à la problématique érosive, la restauration des ravines, lavakas et versants dégradés. On utilisera également ce fondement pour sectoriser et définir des bassins prioritaires, là où les surfaces à haut niveau de risque sont les plus nombreuses et où la connectivité écologique représente un enjeu certain.

L'échelle du bassin versant sera également utilisée lors de l'opérationnalisation de la stratégie et ce, dès les premières visites qui vérifieront la cartographie et estimeront la faisabilité de travaux sur les sites identifiés. Les sites jugés réhabilitables intégreront une base de données des sites à restaurer (voir chapitre 6 pour ce qui est de l'opérationnalisation de la stratégie).

Afin de compiler l'information relative au niveau de risque érosif des sites dégradés et de l'effet fragmentant de ceux-ci sur les corridors et réservoirs, un niveau de risque agrégé est mis en place sur base du traitement suivant :

1. Classe 1 : risque érosif fort (13 à 16) et de fragmentation ;
2. Classe 2 : risque érosif moyen (9 à 12) et de fragmentation ;
3. Classe 3 : risque érosif moyen (9 à 12) et fort (13 à 16) sans risque de fragmentation ;
4. Classe 4 : risque érosif faible (6 à 8), très faible (1 à 4) et de fragmentation
5. Classe 5 : risque érosif faible et très faible sans risque de fragmentation.

Étant donné la vocation de cette carte qui est de contribuer directement à l'identification des bassins versants prioritaires pour la mise en œuvre d'actions de restauration, on considérera uniquement les catégories suivantes au niveau de la couche des sites dégradés (« anciennes pistes », « maquis ouvert bloqués », « sols nus ») soit là où une restauration est envisageable pour le moment. Il va de soi que si le caractère fonctionnel des mines actives venait à changer, la priorisation des bassins versants à traiter préférentiellement pourrait changer.

La pondération des surfaces couvertes par les différents niveaux de risques agrégés dans les sites dégradés concernés contribue à hiérarchiser ceux-ci. La formule suivante de pondération peut être utilisée :

Indice de hiérarchisation = (a*Surf classe 1)+(b* Surf classe 2)+(c* Surf classe 3)+(d* Surf classe 4)+(e*Surf classe 5)

Où les constantes a, b, c, d, e sont des constantes choisies arbitrairement. Nous proposons des valeurs pour ces constantes au point 1.2 du chapitre 6 relatif à la création d'un catalogue de zones d'intervention prioritaires (bassins versants prioritaires).

L'établissement de ce catalogue de bassins versants fait partie de l'opérationnalisation de la stratégie et ne sera donc pas intégré au présent livrable. Notons que la méthode et la détermination des constantes de hiérarchisation demande une appropriation conceptuelle par les acteurs qui porteront la responsabilité de la mise en œuvre.

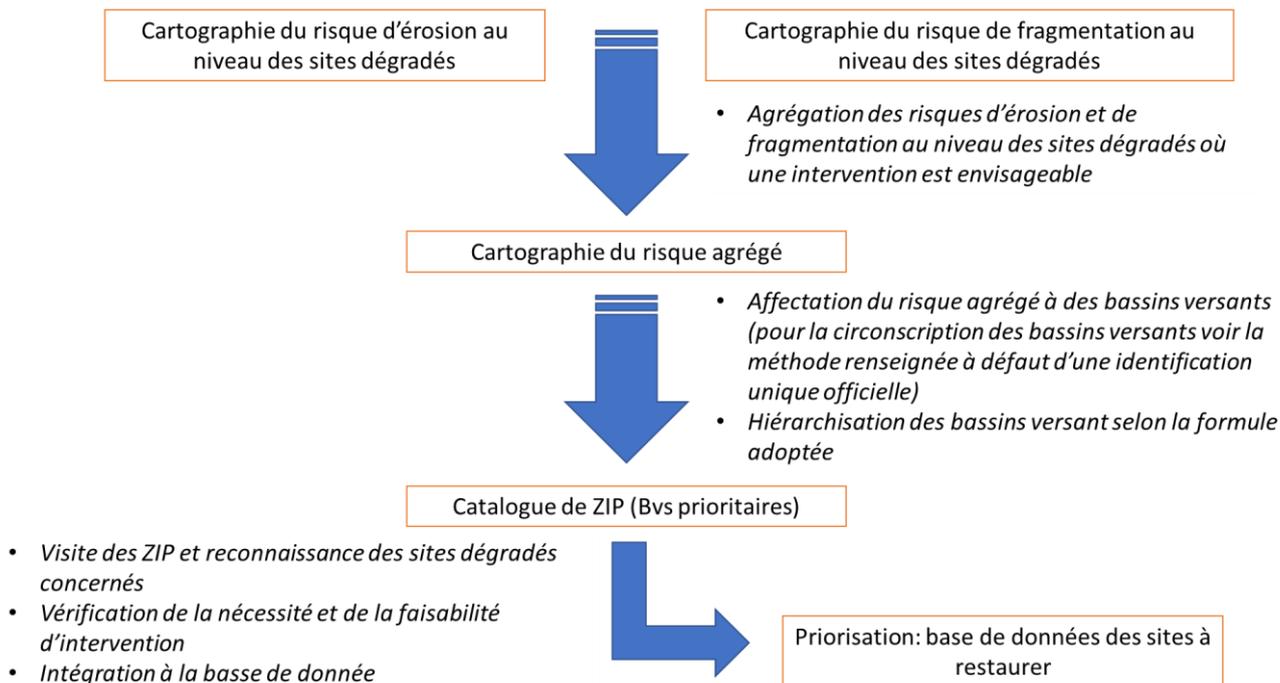


Figure 21. Schéma du processus de hiérarchisation et de priorisation

L'approche par bassin versant permet généralement de gagner en efficacité (coût par unité de surface restaurée) dans le sens où l'on va préférer coupler des interventions sur un même bassin versant même si les sites dégradés ciblés n'ont pas le même niveau de priorité (classe de 1 à 5 du risque agrégé).

6 LIMITES DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE ET PISTES DE REFLEXION

L'érosion des versants dans des conditions environnementales normales est généralement limitée lorsque qu'une couverture végétale de qualité est implantée et joue un rôle favorable pour la limitation du ruissellement et l'augmentation de l'infiltration. La cartographie de sensibilité des sols utilisée ci-dessus pour évaluer le risque prend en compte ce principe à travers l'intégration dans le modèle de la carte des classes d'occupation de sols. Cette couche relative à l'occupation des sols ne reflète par contre pas le niveau de dégradation des strates les plus basses de la végétation et renvoie pour la forêt un niveau de protection du sol excellent. En Nouvelle-Calédonie, à certains endroits sur le territoire, les ongulés envahissants (cerf rusa et cochon feral) causent des dégâts importants aux strates forestières les plus basses (litière et strate de régénération) (Delvienne et al., 2016).

Il a été démontré par plusieurs auteurs que la litière forestière était d'une plus grande importance que la canopée pour le contrôle de l'érosion (Lowdermilk, 1930, Chapman, 1948 dans (Wiersum, 1984)) et que ce contrôle est non seulement dépendant de la couverture du sol par la litière mais également de la taille maximum des surfaces non protégées par celle-ci (Packer, 1951 dans (Wiersum, 1984)).

Lorsque la hauteur du couvert est importante (strates forestières les plus hautes), l'énergie cinétique des gouttes tombant du couvert végétal sur le sol s'accroît (à 7 m, 90% de l'énergie initiale est retrouvée) si bien que l'effet protecteur en est relativisé. Diverses études ont montré que l'interception d'une averse par un couvert élevé, s'il réduit le volume d'eau atteignant le sol peut être sans effet sur son énergie cinétique voir même l'accroître, les gouttes étant alors plus grosses. Si le sol n'est pas protégé par une litière et une strate végétale basse, cette situation peut entraîner un détachement accru des particules du sol (dans une proportion pouvant atteindre 3 fois le taux de détachement observé en terrain découvert) (Soutter, Mermoud, & Musy, 2007)

Pour parfaire l'évaluation de la sensibilité des sols à l'érosion et prendre en compte cette problématique, il faudrait donc revoir la classification d'occupation des sols et affecter aux espaces sous pression un facteur de correction remettant les forêts dégradées par ces ongulés envahissants à un niveau de protection moindre.

Les éléments de cadrage pour une stratégie de régulation des cerfs en Nouvelle-Calédonie et l'identification de sites prioritaires (CI,2016) ne s'est pas basée sur une évaluation de l'aléa cerf ou de son impact sur le milieu mais bien sur une série d'enjeux quasi-exclusivement liés à la biodiversité et sur une vulnérabilité de sols à l'érosion estimée sans considération de l'occupation de ceux-ci. De cette méthode, il résulte qu'une zone prioritaire identifiée pourrait ne pas être en présence d'une population de cervidés et que les zones prioritaires identifiées se situent sur les reliefs escarpés même si l'état du milieu est parfaitement conservé.

Bien évidemment, une évaluation quantitative des populations de cervidés sur un territoire donné est complexe et onéreuse et risque de ne pas apporter réponse à notre réflexion. En effet, la problématique de la déstructuration des couches protectives du sol sous couvert forestier n'est pas du seul fait du cerf rusa. A densité comparable, le cochon apparaît comme l'espèce la plus problématique du point de vue des phénomènes érosifs de versant et des berges dans les bassins d'Adduction d'Eau Potable (AEP). En période humide (saison pluvieuse), le cochon privilégie la fouille des versants dont les sols ont été ameublés par les dernières pluies, chose difficilement faisable pour lui en période sèche du fait du caractère induré des sols à cette période. Ces versants fouillés sont bien plus vulnérables à l'érosion au moment précis où l'occurrence des pluies importantes est la plus grande. Les espaces usités en saison sèche (souille) sont d'ailleurs quasi-exempts de traces en saison pluvieuse. La saison sèche est par contre plus propice à la fouille des berges et la mobilisation de matériaux lors de faibles crues en est facilitée (Delvienne et al., 2018).

Il faut donc pouvoir évaluer par une méthode de relevés de terrain ou à dire d'expert un niveau de détérioration du sous-couvert forestier. Pour répondre aux objectifs d'une stratégie territoriale, à défaut d'une cartographie des pressions sur l'ensemble des espaces naturels (coût élevé et temps d'exécution nécessaire important), la méthode à dire d'expert doit être jugée suffisante.

Les experts à consulter sont les services déconcentrés de la province, les associations de chasseurs et les mairies. C'est une problématique qui peut être inscrite dans la stratégie d'action d'une stratégie de restauration à l'échelle provinciale mais qui reposera sur une évaluation du risque spécifique lié à l'aléa ongulés envahissants estimé à dire d'expert (en utilisant la carte d'aléa à dire d'expert et la carte des enjeux). Ce seront notamment, vu la cotation des enjeux validés en COTECH, les bassins de captage d'eau potable où l'aléa est fort qui seront noté en risque élevé et devront faire l'objet d'intervention prioritaires en matière de contrôle des espèces envahissantes.

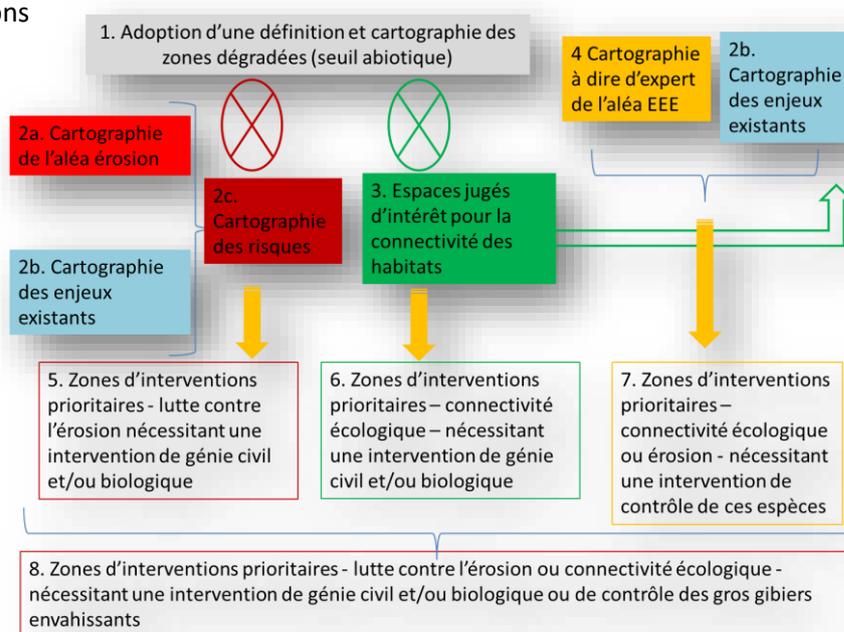
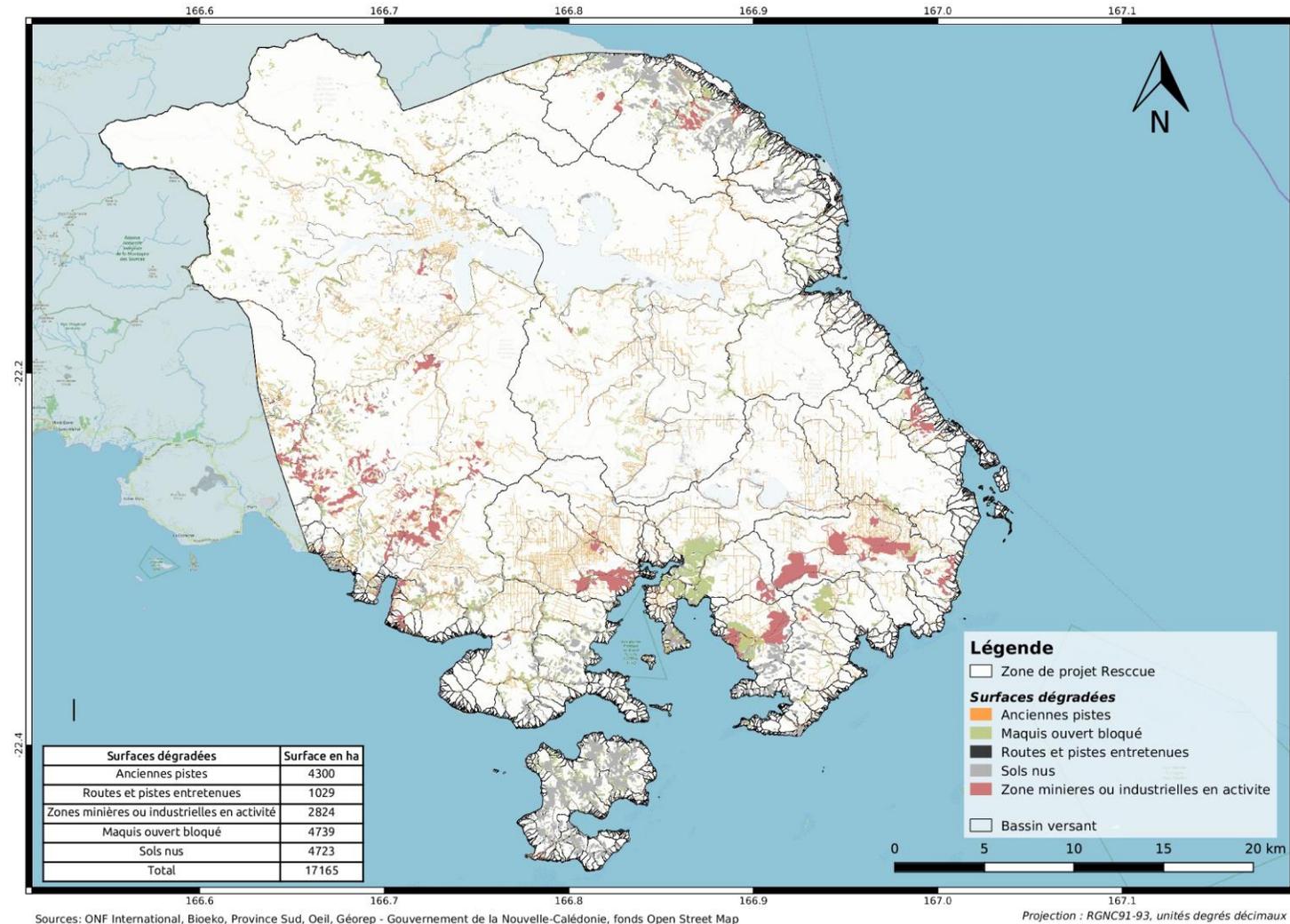


Figure 22. Adaptation de la méthode pour une prise en compte du risque « gros gibier envahissant » dans le cadre de l'identification des zones prioritaires d'intervention

Chapitre 5 Résultats de la priorisation des sites à restaurer pour le Grand Sud

1 CARTOGRAPHIE DES SITES DEGRADÉS DU GRAND SUD

Le traitement cartographique d'identification des sites « dégradés » tel que défini au chapitre 4 section 2 met en évidence une surface de 17 615 ha de terres concernées pour une surface totale (grand Sud) de 130 795 ha ce qui correspond à 13,5% de cette même surface.

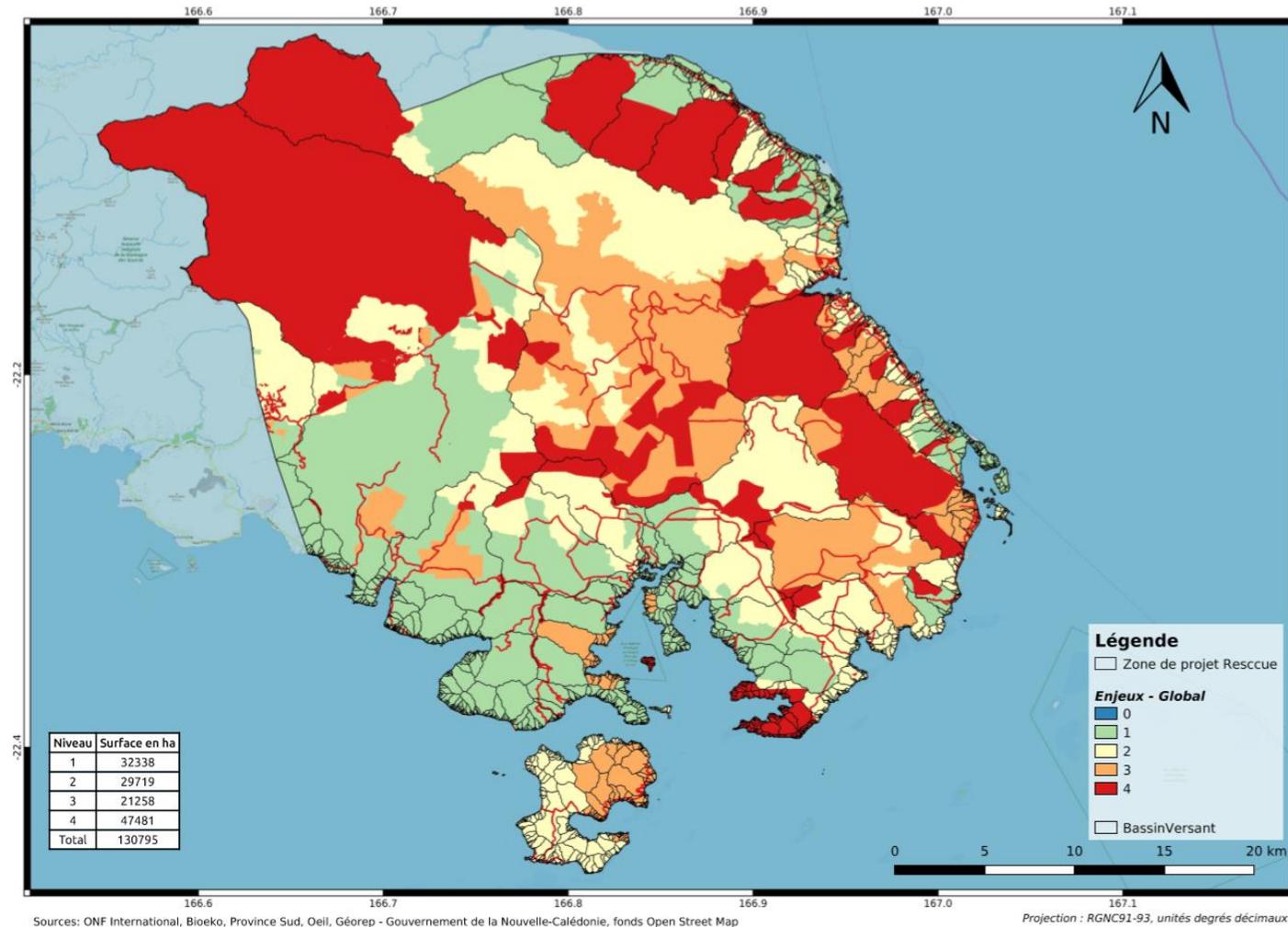


La répartition de la surface dégradée en fonction de son origine est respectivement de 27 %, 27 %, 24 %, 16 % et 6 % pour le maquis ouvert bloqué, les sols nus, les anciennes pistes, les zones minières ou industrielles en activité et enfin, les routes et les pistes entretenues. C'est donc environ 78% de cette surface qui pourrait faire l'objet d'une première priorisation de l'effort de restauration soit 13 762 ha en dehors de toute autre considération (intervention possible dans des espaces non actuellement usités).

Figure 23. Carte des sites dégradés du Grand Sud

2 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION DU POINT DE VUE DE L'EROSION ET DES ENJEUX DE TERRITOIRE

2.1 CARTOGRAPHIE DES ENJEUX DU GRAND SUD



Le traitement cartographique lié à la qualification et la cotation des enjeux et leur agrégation tel que défini au chapitre 4 point 3.2 permet de fixer un niveau d'enjeu (vulnérabilité) unique à chaque espace.

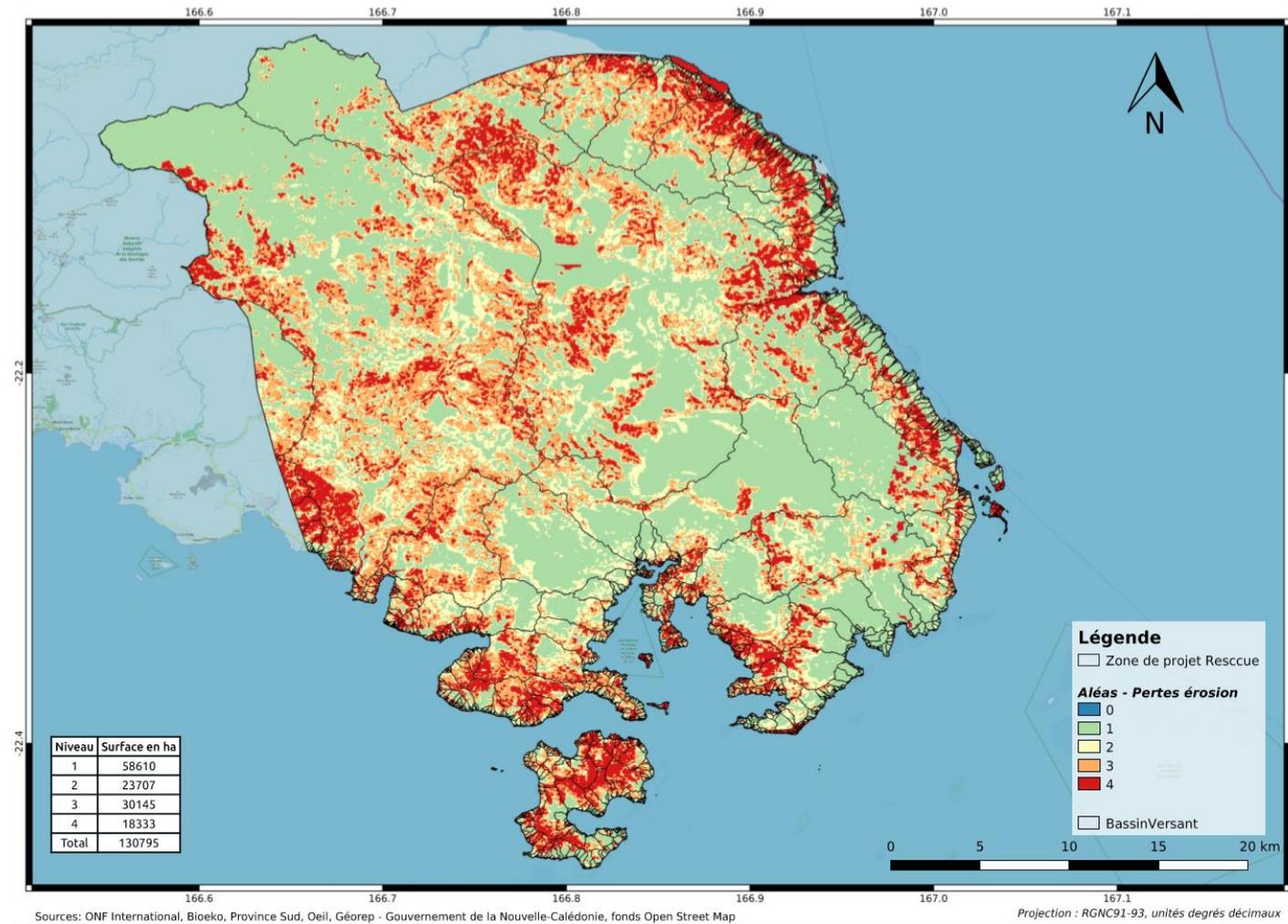
Avant agrégation, des cartes spécifiques ont été développées par type d'enjeu (Eau, Infrastructures Humaines, Développement Durable, Pêche Côtière et Biodiversité). Ces dernières sont disponibles en annexe.

Sur les 130 795 ha terrestres que couvre le Grand Sud, nous avons respectivement 24,7%, 22,7%, 16,3% et 36,3% des surfaces classées en un niveau d'enjeu « faible », « moyen », « fort », « très fort ».

A priori et vu la répartition des niveaux d'enjeu, cet effort de qualification peut permettre de contribuer à une priorisation de l'ordre de 1 sur 4.

Figure 24. Carte des enjeux agrégés du Grand Sud

2.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EROSION DANS LE GRAND SUD

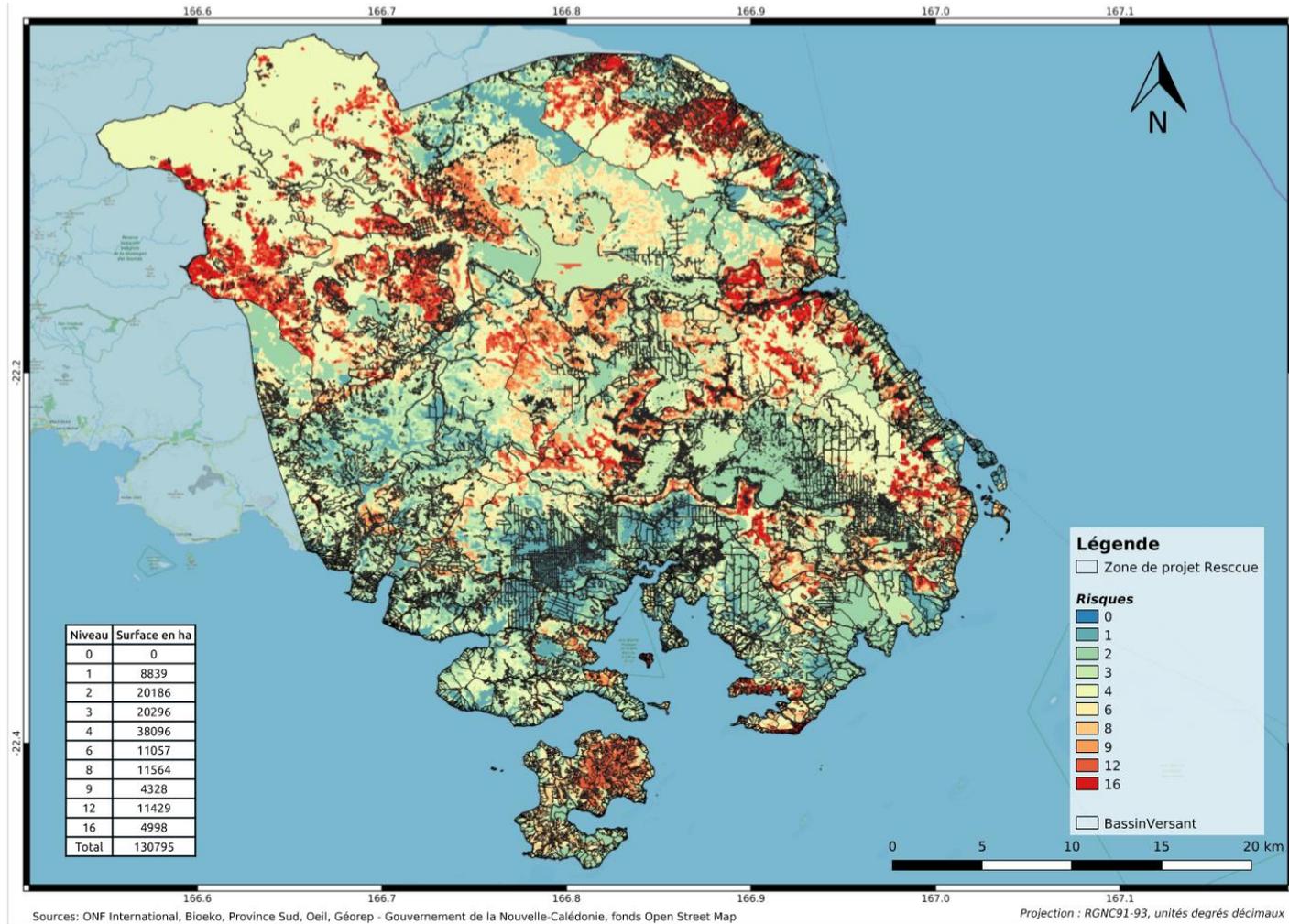


Le traitement cartographique de catégorisation de l'aléa tel que défini au chapitre 4 section 3.1 met en évidence, pour une surface totale (grand Sud) de 130 725 ha, respectivement 44,8%, 18,1%, 23,1% et 36,3 % des surfaces classées en un niveau de sensibilité à l'érosion respectivement « faible », « moyen », « fort », « très fort ».

La sensibilité à l'érosion de niveau faible recouvre donc presque la moitié de la surface totale du grand sud (44,8%), on peut considérer avant de procéder à l'évaluation du risque qu'il n'y aura pas nécessité d'entrevoir des actions visant la restauration des milieux sur ces espaces.

Figure 25. Carte de sensibilité à l'érosion

2.3 CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'ÉROSION AU REGARD DES ENJEUX DU TERRITOIRE

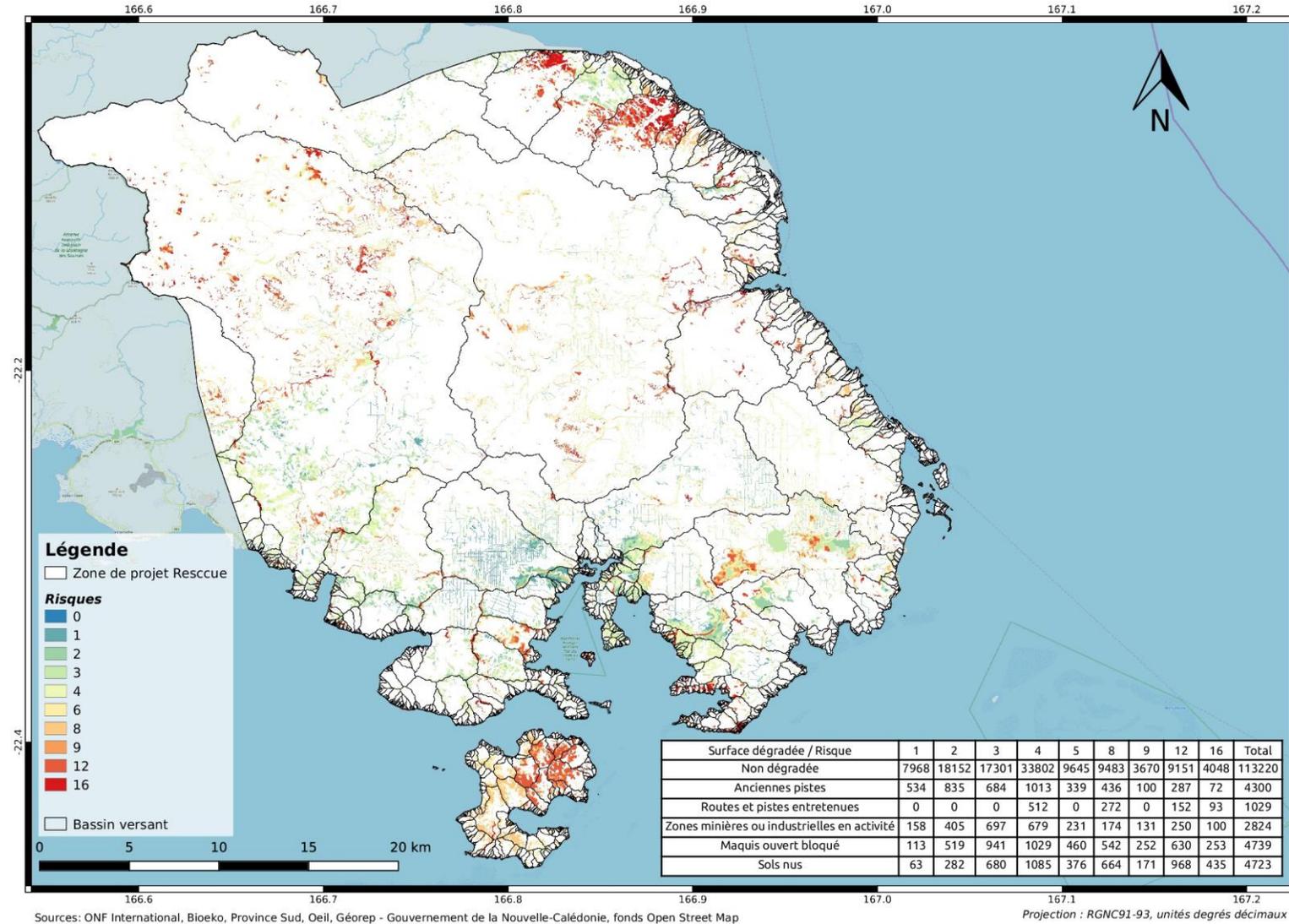


Le traitement cartographique d'évaluation du risque tel que défini au chapitre 4 section 3.3 met en évidence, pour une surface totale (grand Sud) de 130 725 ha, respectivement 66,9%, 17,3%, 12,1% et 3,8 % des surfaces classées en un niveau de risque « très faible », « faible », « moyen », « fort ».

Le risque d'érosion de niveau faible et moyen recouvre plus de la moitié de la surface totale du grand sud (84,2%), on peut considérer avant de procéder au croisement avec la couche définie comme surfaces dégradées bloquées qu'il n'y aura pas nécessité d'entrevoir des actions visant la restauration des milieux sur ces espaces.

Figure 26. Carte du risque érosif

2.4 PRIORISATION DES SITES DEGRADES A TRAITER D'UN POINT DU VUE DU RISQUE EROSIF



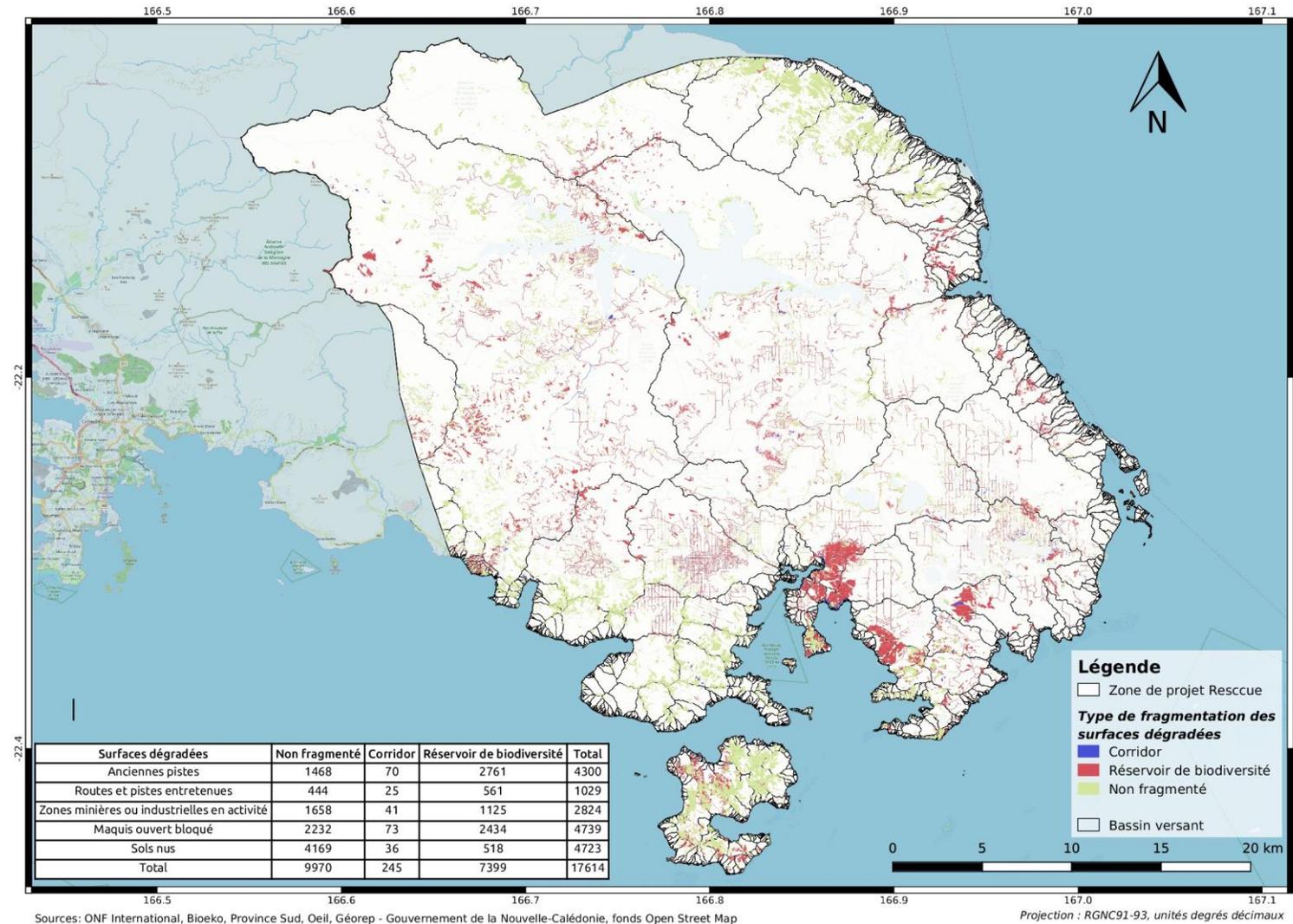
Le traitement cartographique présenté à la section 3.4 du chapitre 4 permet l'identification des sites dégradés qui méritent une attention particulière.

Le niveau de risque de tous les sites dégradés (tel que défini au chapitre 4 section 2) se répartit de la manière suivante : très faible = 58%, faible = 20%, moyen = 17% et fort = 5% (pour rappel, la surface totale des sites dégradés est de 17 615 ha.

Après extraction des sites où une restauration n'est pas envisageable (Routes et pistes entretenues et zones minières ou industrielles en activités), la répartition est la suivante 44% (7 778 ha) en risque très faible, 16% (2 817 ha) en risque faible, 14% (2 407 ha) en risque moyen et 4% (759 ha) en risque fort.

Figure 27. Carte du risque érosif dans les sites dégradés

3 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION DU POINT DE VUE DE LA FRAGMENTATION ECOLOGIQUE

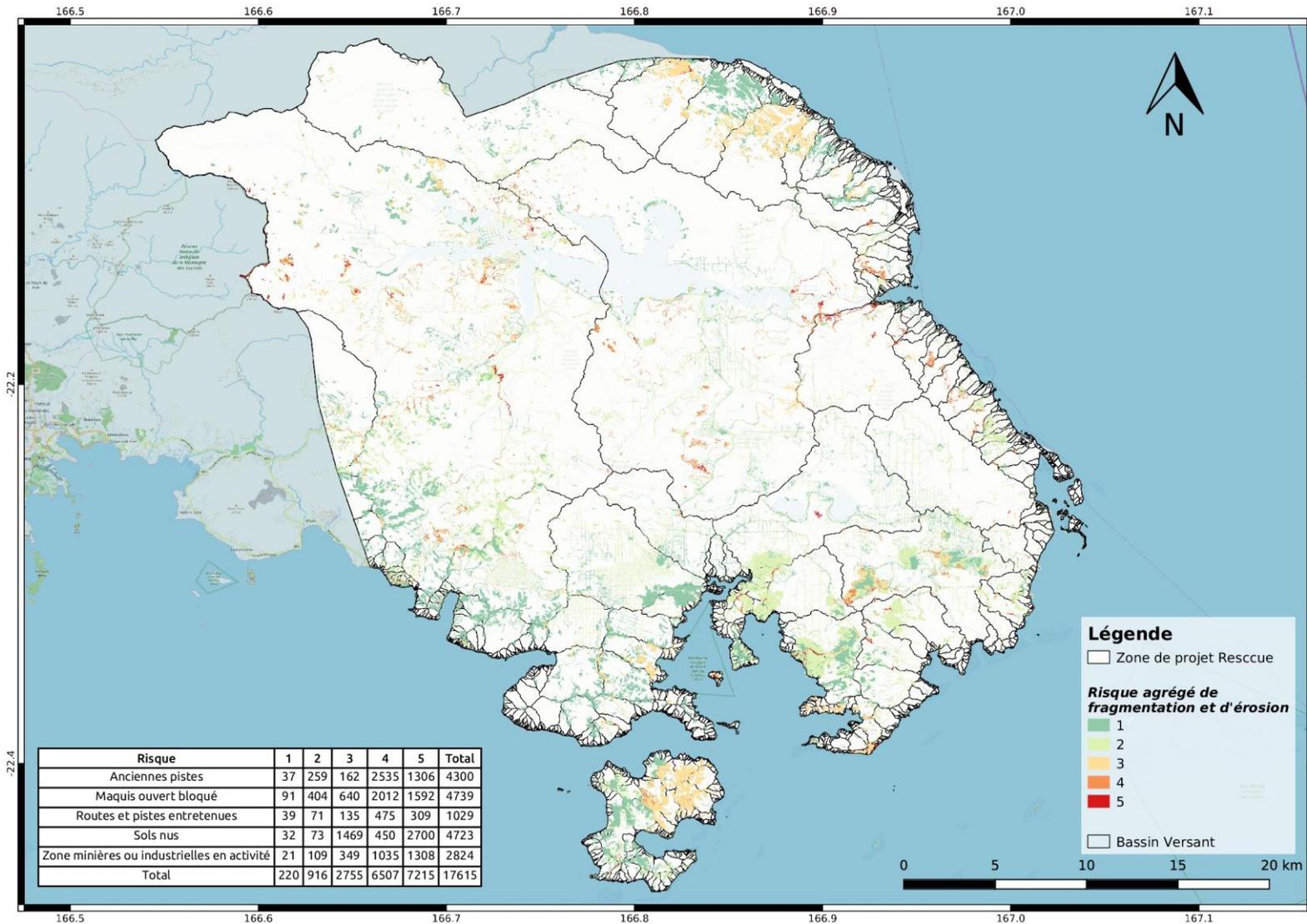


Le traitement cartographique présenté à la section 4 du chapitre 4 permet l'identification des sites dégradés qui méritent une attention particulière d'un point de vue de la fragmentation des réservoirs ou des corridors de biodiversité.

43,40% de la surface des sites dégradés (7 645 ha) a un effet fragmentant. Cet effet fragmentant des sites dégradés se répercute à 97 % sur les réservoirs, le reste étant à imputer sur les corridors.

Figure 28. Carte du risque de fragmentation des réservoirs et de corridors de biodiversité par les sites dégradés

4 IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES D'INTERVENTION CONJUGUANT L'ASPECT « LUTTE CONTRE L'ÉROSION » ET « LIMITATION DE LA FRAGMENTATION DES MILIEUX »



Sources: ONF International, Bioeko, Province Sud, Oeil, Géorep - Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, fonds Open Street Map

Projection : RGNC91-93, unités degrés décimaux

Le traitement cartographique présenté à la section 5 du chapitre 4 permet l'identification des sites dégradés qui méritent une attention particulière d'un point de vue érosif et de la fragmentation des réservoirs ou des corridors de biodiversité.

Sur les 13 762 hectares que comptent les sites dégradés concernés par une potentielle restauration (sols nus, anciennes pistes et maquis ouvert bloqué), nous avons respectivement 1%, 5%, 17%, 36% et 41% de cette surface présentant un niveau de risque agrégé de classe 5,4,3,2,1 (voir section 5 du chapitre 4 pour la définition de ces classes).

Figure 29. Carte du risque agrégé des sites dégradés

Tableau 16. Concentration des sites à niveau de risque agrégé différent présent sur cadastre minier et titre minier échu

Niveau de risque agrégé	1	2	3	4	5	Total
Surface des sites sur cadastre minier (ha) avec date d'échéance renseignée avant 2025	1 322	1 157	243	83	3	2 808
Surface des sites sur cadastre minier (ha) avec date d'échéance renseignée entre 2025 et 2035	350	681	49	22	4	1 106
Surface des sites sur cadastre minier (ha) avec date d'échéance renseignée entre 2035 et 2045	91	206	17	6	0,36	320,36
Surface des sites sur cadastre minier (ha) avec date d'échéance renseignée supérieure à 2045	736	866	309	132	26	2 069
Sous total cadastre minier (*)	2 499	2 910	618	243	33,36	6 303,36
Surface des sites hors cadastre minier renseigné sur titre minier échu (ha)	2 980	2 055	1 135	357	94,39	6 621,39
TOTAL (ha) Cadastre minier et titre échu (**)	5 479	4 965	1 753	600	127,75	12 924, 75

Tableau 17. Répartition des surfaces des sites présentant des niveaux de risques agrégés différents en fonction de l'aménagement du territoire et des infrastructures clés (voirie = accessibilité véhicule)

Niveau de risque agrégé	1	2	3	4	5	Total
Surface des sites hors cadastre minier(*) et situé à moins de 500 m des voiries entretenues et non-entretenues (ha)	2 189	1 726	839	360	96,5	5 210
Surface des sites hors titre cadastre minier actif et titre échu (**) et situé à moins de 500 m des voiries entretenues et non-entretenues (ha)	842	597	493	160	35	2 127

Chapitre 6 Étapes et outils nécessaires à l'opérationnalisation de la stratégie

1 PREREQUIS A L'OPERATIONNALISATION DE LA STRATEGIE DE RESTAURATION DES SITES DEGRADEES

1.1 CADRE DE MISE EN ŒUVRE

La province Sud souhaite agir pour la restauration des sites dégradés à l'échelle de son territoire. Cette volonté n'est pas nouvelle, comme d'ores et déjà évoqué précédemment, la province a initié des opérations de restauration dès les années 70 au droit d'anciens sites miniers. En 2009 avec d'une part la création du Fonds Nickel, organisme dont la province est membre, et d'autre part le renforcement du Code de l'Environnement et l'inscription du principe de « pollueur-payeur », la province a réorienté son action, en transférant l'opérationnalisation de la restauration à des tiers (le Fonds Nickel ou les industriels responsables des dégradations), tout en renforçant son rôle d'autorité environnementale à l'aide d'un corpus réglementaire plus étayé.

La responsabilité de la restauration des sites dégradés a donc été revue en 2009 et se répartie comme suit :

- Fonds Nickel : site minier dégradé avant 1975 et sans propriétaire,
- Opérateur minier : site minier dégradé présent au sein de ses concessions, (si dégradé avant 1975, aide du Fonds Nickel possible)
- Province Sud (DDR) : site dégradé dont la cause n'est pas l'exploitation minière (naturelle, autres activité anthropique)

On voit donc qu'actuellement la DENV n'a pas de rôle opérationnel défini par les textes en matière de restauration. Parmi les outils introduits en 2009, la séquence ERC et un des outils qui lui permet à la fois d'éviter, de réduire ou de compenser les dégradations engendrées sur la biodiversité par un projet. Mais il faut surtout retenir de cet outil que le troisième volet du triptyque, la compensation, est un outil permettant à la province d'amener le pétitionnaire à restaurer des sites anciennement dégradés afin de générer les gains de biodiversité nécessaires à la compensation des pertes engendrées par son projet.

Depuis 2009, la province a prescrit à l'échelle de son territoire 1 528 ha de mesures compensatoires. Or seulement 85 ha ont été réalisés à ce jour. Il peut donc être constaté que malgré la volonté provinciale de prescrire des mesures de restauration des terrains dégradés au travers le mécanisme de compensation écologique, celles-ci sont très difficilement mises en œuvre par les pétitionnaires.

Les principaux arguments avancés par ces derniers pour expliquer ce faible taux de mise en œuvre sont l'absence de foncier disponible au sein de son propre foncier, ainsi que l'absence d'une stratégie provinciale leur indiquant où et comment mettre en œuvre les mesures dues en dehors du foncier détenu par celui-ci.

Avec la présente stratégie la province souhaite donc amener des éléments de réponses aux pétitionnaires afin de faciliter le déploiement de leurs mesures compensatoires. Il est strictement nécessaire dans un premier temps de spécifier les responsabilités de la mise en œuvre de la stratégie au niveau des directions, des services techniques et d'internaliser la création d'un portefeuille des sites à restaurer (voir section suivante) et le suivi des efforts de restauration/compensation. L'argumentaire des opérateurs sur l'absence de sites à restaurer sur leur cadastre minier pourra être vérifiée et offrira au besoin des options alternatives pour rendre effective leur compensation.

Vu l'ampleur de la tâche (création des outils provinciaux, mise en place d'un portefeuille de sites à restaurer, suivi des chantiers et atteinte de la compensation), il nous paraît assez évident de dédier au moins une ressource humaine à la coordination et au suivi de la mise en œuvre de la stratégie à l'échelle provinciale. Ce dernier sera étroitement appuyé par des techniciens (SIG, restauration et gestion des eaux), les compétences à réunir nécessiteront une collaboration très étroite entre plusieurs services de la province.

1.2 CREATION D'UN CATALOGUE DE ZIP ET D'UN PORTEFEUILLE DE SITES A RESTAURER

Sur base des résultats de l'analyse cartographique présentée plus haut au chapitre 5 (sections 2.4, 3.2 et 4 du chapitre 5), les services techniques de la province qui seront désignés (voir la section 1.1 du présent chapitre), développeront un catalogue des bassins versants et de sites d'intervention selon une codification choisie.

L'ensemble des sites dégradés doit être considéré au-delà du statut foncier ou de l'accessibilité de ces derniers. En effet, il faut partir du principe que l'objectif final d'ici 2100 est restaurer l'ensemble de sites dégradés quel que soit leur situation. Il va de soi que les sites à haut niveau de risque, facilement accessible et sur foncier jugé sans contrainte intégreront en premier lieu le portefeuille des sites à restaurer (étape 5 du tableau ci-dessous).

La démarche proposée pour la création de ce portefeuille est la suivante :

Tableau 18. Démarche synthétique de création d'un portefeuille de sites à restaurer

	Étapes	Produits	Échelle – unité
1	<p>Hiérarchisation des bassins versants</p> <p>a) Affectation de la classification du risque agrégé des sites dégradés à chaque bassin versant ;</p> <p>b) Calcul d'un indice de hiérarchisation selon la formule consacrée.</p>	<p>Liste hiérarchisée de bassins versants sur le territoire considéré</p>	Bassin versant
2	<p>Analyse documentaire des sites potentiels de restauration</p> <p>a) Agglomération des sites dégradés homogènes (risque et géographie) au niveau d'un même bassin versant, codification unique et description ;</p> <p>b) Étude de la faisabilité documentaire d'une intervention.</p>	<p>Base de données des sites dégradés alimentée en continu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sites mis en attente • Portefeuille de sites potentiels d'intervention 	Surface homogène de sites dégradés au sein d'un même bassin versant (numéro unique d'identification)
3	<p>Analyse de terrain et mise en portefeuille</p> <p>Vérification de la faisabilité documentaire sur le terrain ;</p> <p>Circonscription des sites, précision des caractéristiques des sites concernés et de la dynamique des sites ;</p> <p>Proposition d'un cadre d'intervention sommaire</p> <p>Validation de l'entrée en portefeuille par un comité ad-hoc</p>	<p>Portefeuille de sites potentiels d'intervention</p> <ul style="list-style-type: none"> • Portefeuille de sites mis en attente • Portefeuille de sites d'intervention 	Surface homogène de sites dégradés
4	<p>En fonction des modalités pratiques d'exécution de la séquence ERC, réalisation des avants projets</p>	<p>Avants projets de restauration des sites en portefeuille</p>	

Notons que la démarche ne nécessite évidemment pas le traitement de l'intégralité des bassins versants pour créer un portefeuille de sites à restaurer. Les travaux se dérouleront au fil de l'eau et seront suivi par un comité technique ad-hoc qui fixera semestriellement des objectifs de mise en portefeuille.

Étape 1 : Hiérarchisation des bassins versants

Les bassins versants seront classés en fonction du niveau de risque qu'ils présentent au regard de la problématique érosive et/ou de fragmentation (voir les 5 classes définies à la section 4 du chapitre 5). Cet effort est qualifié de **hiérarchisation** des bassins versants. A ce titre (voir le point 5 du chapitre 4), il est nécessaire de construire un indice de hiérarchisation pour chaque bassin versant. Nous avons, pour l'exemple qui suit, proposé, des valeurs de constante de manière arbitraire avec comme objectif de donner un poids plus important aux bassins versants présentant des surfaces de sites dégradés classés en risque agrégé le plus élevé.

Indice de hiérarchisation utilisé = $(10 \times \text{Surf classe 1}) + (7,5 \times \text{Surf classe 2}) + (5 \times \text{Surf classe 3}) + (2,5 \times \text{Surf classe 4}) + (0 \times \text{Surf classe 5})$

Tableau 19. Exemple d'application d'une hiérarchisation des bassins versants.

Numéro d'identification unique de BV	Indice Hiérarchique Calculé	Surface de Sols nus	Surface de Maquis ouvert bloqué	Surface d'Anciennes pistes	Surface des Zones minières ou industrielles en activité	Surface de Routes et pistes entretenues
2847	9169,18	459,84	1163,75	1168,61	752,96	186,20
7297	4395,49	346,81	499,64	591,37	5,19	187,80
2161	2653,03	97,01	57,95	269,45	663,69	53,37
7616	2140,30	211,43	119,78	33,55	130,16	12,67
7776	1181,37	187,10	78,17	16,38	28,89	3,63
2732	1115,46	88,67	134,40	207,98	225,16	41,83
3147	1056,42	180,94	180,08	239,75	3,38	66,19
2908	943,31	26,53	59,56	392,48	152,90	46,71
397	828,62	132,52	31,35	3,83		5,88
7289	727,08	28,14	66,48	42,91		22,35
...

Étape 2 : Analyse documentaire des sites potentiels de restauration

Le catalogue des bassins versants où une intervention est jugée prioritaire (**hiérarchisation**) présentera la situation de ces derniers et de leurs sites dégradés considérés (anciennes pistes, maquis ouvert bloqués, sols nus). L'effort consistera notamment en :

- **La subdivision des sites dégradés concernés au niveau de chaque bassin en sites potentiels d'intervention.**

Les éléments permettant d'orienter la subdivision des sites dégradés d'un BV et l'agglomération d'éléments cartographiques (vectoriels ou ensemble de pixel (raster)) pour définir un ensemble opérationnel (sites potentiels d'intervention) sont :

- Une distance entre les éléments cartographiques constitutifs limitée et réaliste pour envisager la planification d'une opération de restauration d'ensemble ;
- Un niveau de risque agrégé de préférence assez homogène.

Selon la codification provinciale qui sera adoptée, chaque site potentiel d'intervention recevra une codification unique. L'effort d'agglomération des éléments cartographiques en sites potentiels d'intervention ne peut être automatisé et nécessite une intervention manuelle de l'opérateur assez chronophage d'où la nécessité de mettre en place les moyens humains nécessaire à cette mise en œuvre (voir section 1.1 du présent chapitre)

On procédera ensuite pour chacun des sites potentiels d'intervention à la compilation des données suivantes:

- Vérification des données cartographiques ;

- Précision des limites et différenciation à partir du fond ortho-photographique, d'images aériennes récentes ou d'images satellites à très haute résolution ;
 - Sols nus ;
 - Maquis ouvert clairsemé ;
 - Lavakas ;
 - Ravines.
- Statut foncier ;
- Statut au cadastre minier ;
- Accessibilité des sites (accessible en véhicule, accessible à pied/cheval et accessible uniquement en hélicoptère) ;
- Analyse des causes de dégradation ;
- Travaux effectués.
- **La faisabilité documentaire d'une restauration des sites.** Les éléments contextuels repris ci-dessus doivent permettre d'apporter les informations nécessaires avant la vérification terrain (étape 3) à travers l'utilisation de la « clé dichotomique préalable à la restauration d'un site dégradé (province Sud) » (figure 12). De par leurs caractéristiques (foncier et cadastre notamment), certains sites seront mis en attente et ne seront pas incorporés dans le **portefeuille de sites à visiter**.

Étape 3 : Analyse de terrain et mise en portefeuille

Il s'agit d'organiser au fil du temps la visite de terrain des bassins versants prioritaires et des sites dégradés mis en portefeuille à l'étape 2 sur la base unique, on le rappelle, d'une analyse au bureau.

Ces visites de terrain seront organisées par l'administration provinciale de manière conjointe (DENV et DDR de préférence ou autre en fonction de l'organisation institutionnelle choisie). Ces visites ont pour objectif de :

- Vérifier les informations compilées au bureau de chaque site ;
- Circonscrire et décrire sommairement les sites dégradés concernés (amplitude géographique, type, dynamique) et recueillir de l'information photographique géoréférencée caractéristique ;
- Discuter conjointement des orientations générales techniques de la restauration du site et de ses éléments ;
- Évaluer les coûts selon une grille type des coûts à valider au niveau de la province (retour des expériences de la DDR).

De retour au bureau, les sites en portefeuille « visite » sont soit mis en attente soit mis dans le portefeuille des sites qui pourraient faire l'objet d'une restauration. Un comité technique adhoc est mis en place pour acter ce passage en portefeuille ou la mise en attente.

Étape 4 : réalisation des avants projets

En fonction des modalités pratiques d'exécution des efforts de restauration ou de la séquence ERC mais également de la volonté de restauration des milieux par des organismes ou structures externes à la province, la réalisation des avants projets pourra être soit réalisée en régie, par externalisation ou directement par des structures porteuses de projet.

Il sera nécessaire de traduire l'exigence pour tous les acteurs de s'insérer dans le présent cadre stratégique.

2 ÉLÉMENTS POUR L'OPERATIONNALISATION DE LA STRATEGIE

2.1 DEFINIR DES OBJECTIFS DE RESTAURATION

La mise en œuvre de la stratégie s'articule autour d'un catalogue de sites prioritaires pour la restauration. Pour le grand Sud, la priorisation à l'échelle régionale a été menée dans le cadre de ce travail. La mise en œuvre des étapes décrites dans le paragraphe précédent permettra de hiérarchiser ces sites entre eux et d'évaluer la faisabilité d'une restauration. En fonction du site, de l'origine et de la date de la dégradation, la responsabilité de la restauration pourra être définie pour chacun des sites. Pour les sites se trouvant sur une concession minière détenue par un opérateur, un rapprochement avec ce dernier devra être fait afin de voir si la restauration totale de celui-ci est opportune à courts termes. En effet en fonction des velléités de ce dernier à exploiter ou non ce site dans le futur, les modalités de restauration seront à moduler en fonction (i) : du niveau de priorité de la restauration en regards des différents enjeux (humains, économiques et environnementaux) et (ii) : en fonction de la localisation exacte du gisement à exploiter au sein de la concession (souvent le gisement exploitable ne représente que quelques pourcents de la surface de la concession).

Les sites dégradés ne relevant ni de la responsabilité du Fonds Nickel, ni de la responsabilité d'un opérateur minier, entreront dans le portefeuille de sites dégradés que la province aura à proposer aux différents pétitionnaires ayant des obligations de compensation à remplir. Dans un premier temps il sera important de proposer parmi les sites prioritaires des sites présentant des potentialités différentes en termes d'opération de restauration (lutte contre l'érosion, sylviculture HQE, restauration écologique). Cela permettra aux pétitionnaires de mettre en œuvre le panel d'action qui lui sera prescrit.

Un peu plus de 137 ha de zones dégradées sont ressortis comme très hautement prioritaires (niveau 5) dans l'analyse cartographique menée ci-dessus. Environ 685 ha sont apparus hautement prioritaires (niveau 4) et 2 339 ha ont un niveau moyennement prioritaire (niveau 3). Il sera donc important dans les premières années de mise en œuvre de la stratégie de se concentrer sur les zones de niveau de risque élevé (3 à 5) tout en veillant à respecter l'approche par bassin versant.

Au regard des statistiques générales présentées au point 4 du chapitre 5, le portefeuille de réserve (analyse documentaire) sera, dans les premières années, au moins aussi rempli que le portefeuille de sites à restaurer. L'enjeu pour le gestionnaire sera bien de saisir les opportunités conjoncturelles (changements de cadre réglementaire, du cadastre, d'affectation du foncier, développement de nouveaux modes de restauration, évolution des transports, etc.) pour passer des sites d'un à l'autre et tendre au final vers un objectif de pleine restauration là où le niveau de risque agrégé est le plus élevé.

Sur cette base et afin de demeurer pragmatique, on peut poser les objectifs suivants de restauration pour les 55 prochaines années :

- années 1 à 5 : cible 500 ha avec une majorité de traitement de zones de niveau de risque agrégé de 5 et 4,
- années 5 à 15 : 1000 ha avec une majorité de traitement de zones de niveau de risque agrégé de 3, 4 et 5
- années 15 à 35 : 2000 avec une majorité de traitement de zones de niveau de risque agrégé de 2,3 ,4 et 5 ;
- années 35 à 55 : 2000 avec une majorité de traitement de zones de niveau de risque agrégé de 1,2,3 ,4 et 5

L'atteinte de ces objectifs représenterait donc 5500 ha d'espaces dégradés restaurés soit 40% de la surface potentielle (13762 ha).

La production actuelle destinée à la restauration écologique (plants indigènes au grand Sud) des plus grosses pépinières permet le traitement d'environ 30 ha par an (pépinière de Vale-NC). Outre la production de plants indigènes, il faut également prendre en compte les capacités de production de la filière sylvicole qui sont supérieures (environ 300 ha/an). Ces objectifs peuvent être revus à la hausse en fonction de la structuration des filières de production qui accompagnera la mise en œuvre de cette stratégie.

2.2 MOBILISATION DES MOYENS

La mise en œuvre de cette stratégie nécessitera de travailler en parallèle sur la structuration des acteurs et ce, aux différents niveaux :

- gouvernance et coordination de la stratégie,
- opérateurs miniers et forestiers,
- entreprises de réalisation des travaux.

Concernant la gouvernance de la stratégie, la province aura le leadership pour piloter celle-ci. Un comité technique à l'image de celui mis en place pour l'élaboration de la stratégie serait opportun afin de donner une dimension collégiale à cette prochaine étape. Outre les acteurs institutionnels principalement présents au sein du COTECH, l'élargissement de celui-ci aux représentants des opérateurs miniers et forestiers, ainsi qu'au représentants coutumiers serait un plus. En effet, les premiers sont un relai essentiel avec les professions qui seront principalement concernées par cette mise en œuvre. Les seconds sont un relais essentiel pour s'assurer de la bonne implication des populations concernées dans le processus de mise en œuvre.

Aujourd'hui deux pépinières principales sont présentes dans la grand Sud :

- celle de Vale-NC qui produit pour les besoins de son exploitation (réhabilitation des sites exploités essentiellement et besoins en compensation également),
- celle de Sud reboisement impliquant les coutumiers du grand Sud et qui produit des plants à destination de l'agroforesterie (alimente Sud Forêt, et les producteurs de Santal des Îles Loyauté), mais mène également des opérations de restauration écologique.

Ces deux entités s'appuient sur la main d'œuvre locale à différentes étapes de la production (collecte des graines, plantations, entretien des parcelles,...) La pépinière de Vale-NC s'appuie également sur un réseau de micro-pépinières en tribu pour la phase de grandissement des plants.

A leur côté, la SAEM Sud Forêt est le principal acteur agro-forestier présent dans le grand Sud. Celle-ci s'appuie sur la pépinière Sud Reboisement pour la fourniture de plants, ainsi que sur d'autres pépinières localisées hors du site pilote. Elle emploie également des ouvriers issus des tribus du grand Sud pour les différentes phases de son exploitation (préparation des terrain, plantation, suivi et entretien des parcelles). La SAEM Sud Forêt développe un programme de plantation sylvicole différencié avec une partie dédiée à la sylviculture « HQE » afin de pouvoir mettre en adéquation les besoins agroforestiers et les besoins liés à la compensation écologique.

En parallèle de ces filières de production, il existe plusieurs entreprises localisées sur le grand Nouméa qui sont en mesure d'intervenir sur des travaux de restauration de type RTM.

Un groupe de travail avec l'ensemble de ces acteurs sera à mettre en place. Ce groupe permettra à l'ensemble de ces acteurs d'être informés d'une part de l'avancée de la mise en œuvre de la stratégie et d'autre part il permettra à ces acteurs de travailler avec les institutions à la structuration de la filière afin de répondre au mieux à la demande.

Sur le plan financier les moyens nécessaires à la mise en œuvre de la stratégie seront à ventiler en fonction des responsabilités de acteurs :

- la province Sud devra mettre des moyens dédiés à la coordination de la stratégie, son animation et son suivi (1 ETP Coordinateur, 1 ETP technicien (généraliste de la restauration) et 1/2 ETP SIG base de donnée (mise en place des outils et suivi) soit un coût RH estimé à 15 Mxpf/an. Il s'agira également de doter cette équipe de moyens suffisants pour fonctionner et conduire les études techniques éventuellement nécessaires (budget annuel de fonctionnement hors investissement estimé à 15 Mxpf/an). Gardons à l'esprit que cette cellule de coordination n'a pas la vocation de réaliser des chantiers de restauration.
- les différents responsables des sites dégradés (Fonds Nickel, opérateurs miniers), auront à charge le financement de la restauration de leurs sites,
- enfin comme il l'a d'ores et déjà été évoqué plus haut, la compensation écologique due par les opérateurs miniers du grand Sud ou tout autre exploitant d'une activité ayant un impact sur la biodiversité de cette région, sera mis au service du financement de la mise en œuvre de cette stratégie.

Concernant le dernier point, si un ou des opérateurs de compensation venaient à voir le jour en province Sud, ces derniers pourront investir dans la restauration des terrains dégradés (hors terrains éligible à la restauration via le Fond Nickel), afin de générer des actifs de compensation qui seront ensuite revendus aux pétitionnaires ayant un besoin de tels actifs.

2.3 LA QUESTION DE L'INTEGRATION DE MESURES SYLVICOLES DANS LA RESTAURATION DES SITES DEGRADEES

La réflexion d'intégrer des mesures de plantations sylvicoles dans la politique de restauration doit être considérée en analysant les opportunités et les menaces que la pratique implique :

Tableau 20. Opportunités et menaces potentielles d'une considération de la sylviculture dans l'effort de restauration

Potentielles opportunités	Potentielles menaces
<ul style="list-style-type: none"> • La sylviculture de plantation est habituellement vectrice d'un bon contrôle de l'espace étant donné la valeur économique directe des produits de cette dernière ; • La mise en aménagement peut être utile à conservation de la biodiversité, la protection des corridors forestiers et de leur évolution ; • Les plantations forestières à croissance rapide peuvent être un moyen de contribuer à l'aggradation rapide de sols très détériorés ; • Développement des filières et des communautés ; • Plus grande autonomie en matière et en énergie au niveau du territoire ; • Limitation des importations de la ressource ligneuse et des émissions liées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dans le cadre d'une sylviculture monospécifique, on va changer la composition floristique de l'espace planté et on crée un nouvel écosystème moins diversifié du point de vue végétal ; • Une sylviculture peu raisonnée peut contribuer à la prolifération d'espèces non désirables et envahissantes ; • La résilience des plantations monospécifiques aux changements climatiques et plus généralement aux événements climatiques extrêmes (sécheresse et cyclone) est plus faible que celle des forêts naturelles.

Le réseau écologique (réservoirs et corridors) dans le grand sud étant très dense et recouvrant une grande partie de l'espace, la sylviculture paraît nécessaire dans le cadre d'un d'aménagement durable du territoire qui concilierait à la fois les besoins économiques sociétaux et de conservation de la biodiversité.

La sylviculture peut être un moyen de porter une attention plus soutenue à la gestion biodiversité au plus proche des territoires à travers des processus d'aménagement forestier durable et intégré. Le projet PROTEGE pourrait appuyer la mise en œuvre d'une telle démarche si telle était la volonté politique.

2.4 DEVELOPPEMENT D'UN REFERENTIEL TECHNIQUE

Le présent document sans rentrer dans le détail a renseigné au chapitre 3 un panel de techniques de restauration avec utilisation du génie civil ou du génie biologique. La stratégie n'a pas vocation à définir les techniques qui doivent être utilisées. Il n'y a pas en soit de mauvaises techniques mais plutôt une mauvaise utilisation de ces dernières en fonction de la nature des sites à restaurer d'où l'intérêt, à terme, de professionnaliser et de standardiser le développement des avants projets et la réalisation des travaux (référentiel technique et standards).

Bien que ces outils soient d'intérêt notoire, cela ne doit nullement être un prétexte pour ne pas avancer sur la restauration des sites dégradés à travers la constitution d'un portefeuille et la réalisation des premières actions. En effet, il existe actuellement un corpus de techniques et d'expériences documentées permettant largement de définir et mettre en œuvre des interventions qualitatives.

Pour le développement d'un référentiel technique, il sera d'intérêt de sonder les synergies potentielles avec le CNRT qui doit lancer dans les mois qui viennent un projet de référentiel pour la mine, l'UNC et l'IAC mais ce travail devra reposer avant tout sur l'expérience de la DDR en la matière car travailler sur mine et hors mine est bien

différent (l'accès aux matières et aux outils n'est pas le même (topsoil, engins roulants, etc.). La province pourra exercer sa légitimité et sa volonté de voir se réaliser des programmes de recherche utiles à la gestion du territoire, à la restauration des sites dégradés et mobiliser des sources de financement externes à ses budgets provinciaux.

2.5 VALORISATION ET MISE EN PLACE D'UN SITE ECOLE

La réalisation qualitative de la stratégie de restauration (efficience) et son efficacité à restaurer repose notamment sur les capacités des praticiens de la restauration qui font soit partie du corps des administrations compétentes, des bureaux d'études, des sociétés en charge des travaux ou de la société civile.

Une mise à jour continue de leurs savoir-faire et des échanges réguliers doit contribuer à maintenir un haut niveau de compétence.

On notera que bon nombre de techniques référencées au chapitre 3 se retrouve sur certains sites pilotes qu'il serait bon de mettre en valeur, nous pensons particulièrement au site pilote de la Coulée qui mériterait une mise en valeur toute particulière notamment du fait sa situation géographique, son accessibilité à tous, des techniques utilisées et des données disponibles. Ce site pourrait notamment accueillir un dispositif de suivi de long terme et faire l'objet d'une facilité d'accueil du public pour sensibiliser sur la problématique des sites dégradés (biodiversité et érosion), des pressions anthropiques (feux) et animales (EEE) et sur les processus et techniques de restauration.

2.6 MODALITES DE SUIVI DES SITES

Pour le suivi des sites restaurés, le gestionnaire restera pragmatique au regard des efforts de suivi de la restauration des sites effectuée dans le passé (de nombreux sites ont été restaurés sans information de suivi à l'heure actuelle). Il est plus important d'avoir une vision globale de l'efficience (surface restaurée, plants mis en terre et ouvrages réalisés) et de l'efficacité (mortalité des plants, retour de la biodiversité végétale et animale suite à une aggradation des sols (à long terme)) que d'avoir un suivi extrêmement fin et diversifié parcelle par parcelle mais dont l'intérêt sera plus scientifique qu'autre chose.

La base de données des sites à restaurer/restaurés inclura un double suivi :

- Suivi des travaux (efficience) qui sera mis au regard des coûts de mise en œuvre (ouvrages, végétalisation, terrassement et gestion de eaux) = base de données ouvrages et travaux ;
- Suivi de la restauration (efficacité) à travers un suivi :
 - Ouvrage, terrassement et gestion de eaux : on vérifiera dans le temps l'efficacité fonctionnelle et structurelle des travaux effectués sur base d'un suivi qualitatif annuel ;
 - Végétalisation
 - Suivi de la mortalité par échantillonnage tous les deux ans sauf les 3 premières années pour les besoins de regarnissage ;
 - Suivi photographique avec une même occurrence que le suivi de la mortalité (point fixe et jalon sur l'image) – option survol drone en T0 (soit avant la restauration) et tous les 5 à 10 ans ;
 - Suivi de la croissance en hauteur par échantillonnage tous les 5 ans ;
 - Suivi de la colonisation par d'autres espèces végétales et animales (choix d'indicateur de restauration simple et peu couteux (par exemple lézards)) par échantillonnage tous les 10 ans.

Afin de mettre en place un système de suivi efficace, il est nécessaire de dédier des moyens spécifiquement à ce suivi. En termes de ressource humaine, l'organisation de la mise en œuvre de la stratégie devra prendre soin d'inclure ce besoin.

Chapitre 7 Recommandations générales pour le choix des techniques de restauration des zones prioritaires d'intervention

De manière générale, les recommandations suivantes sont d'application lors de la mise en œuvre des chantiers faisant appel à du génie civil :

- conserver et ne pas dégrader la végétation en place ;
- ne pas créer un linéaire de pistes important pour atteindre le site du chantier. Si la surface de piste à créer est supérieure, voire parfois bien supérieure à la surface traitée, cela peut amener à remettre en cause l'intérêt du chantier. La création d'une piste peut créer à elle seule bien plus de dégâts que le bénéfice attendu par la réhabilitation ;
- privilégier l'usage d'engins « légers » (pelle araignée) et si besoin le recours à l'hélicoptage ;
- bien choisir la période du chantier particulièrement la période de plantation ;
- combiner les techniques de génie civil et de génie biologique ;
- assurer un suivi dans le temps des dispositifs de génie civil pour permettre un retour d'expérience indispensable à l'amélioration des techniques.

Concernant les chantiers de génie biologique, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- conserver et ne pas dégrader la végétation en place ;
- ne pas créer un linéaire de pistes important pour atteindre le site du chantier. Si la surface de piste à créer est supérieure, voire parfois bien supérieure à la surface traitée, cela peut amener à remettre en cause l'intérêt du chantier. La création d'une piste peut créer à elle seule bien plus de dégâts que le bénéfice attendu par la réhabilitation ;
- privilégier l'usage d'engins « légers » (pelle araignée) et si besoin le recours à l'hélicoptage ;
- bien choisir la période du chantier pour les travaux de végétalisation ou de génie biologique utilisant de bois vivant ;
- prendre en compte les conditions écologiques en vue du choix des espèces végétales. Pour ce faire, il est vivement conseillé de faire un bilan préalable des espèces qui se sont développés spontanément sur le site à réhabiliter ;
- privilégier l'implantation d'espèces arbustives et herbacées plutôt qu'arborées. L'érosion diminue en effet lorsqu'on passe progressivement d'un sol dénudé à un couvert d'arbres isolés, puis à des couverts arbustifs et herbacés ;
- combiner les techniques et espèces ;
- assurer un suivi dans le temps des dispositifs de génie biologique pour permettre un retour d'expérience indispensable à l'amélioration des techniques.

Chapitre 8 Conclusion

Après une revue bibliographique et des efforts consentis dans le grand sud jusqu'alors, le présent document propose une démarche méthodologique extensible à l'ensemble de la province Sud pour :

- i. Identifier des sites où des opérations de restauration sont prioritaires d'un point de vue du risque d'érosion et de fragmentation des milieux et
- ii. Opérationnaliser la création d'un portefeuille de sites à restaurer à travers la mise en place d'une gestion de la restauration écologique par bassin versant.

L'opérationnalisation de la stratégie et l'effort continu d'alimentation d'un portefeuille de sites à restaurer doit d'abord passer par une étape d'organisation institutionnelle pour l'agencement de cette responsabilité (services de la province, agence ou autre).

Des outils devront également être développer pour assurer la mise en œuvre de la stratégie (catalogue des bassins versants, base de données sites, travaux, ouvrages, suivis). Pour la réalisation de ces derniers, on veillera à rester pragmatique.

Bibliographie

ADRAF, 2010. [On line], [08/08/2015]

Amir H., L'Huillier L., Fogliani B., Cavaloc Y., Gensous S., Jourand P., Ducouso M., Majorel C., Hannibal L., Saintpierre D., Gunkel-Grillon P., Pagand P., Echevarria G., Mouchon L-C, Bonis M-L, Montarges-Pelletier E., Maggia L., Wulff A. (2015). Rapport scientifique ECOMINE BIOTOP - Rapport CNRT Nickel et son environnement. 238 p.

Bargier N. & Dominique Y. (2013). Diagnose des dolines – Rapport CNRT Nickel et son environnement. Année 2012/2013. 58 p.

de Boer A. and Duffels, J.P. (1996). Biogeography of Indo-Pacific cicadas east of Wallace's Line. Pp. 297-330 in Keast A., and Miller S.E. (eds), *The Origin and Evolution of Pacific Island Biotas, New Guinea to Eastern Polynesia : Patterns and Processes*. SPB Academic Publishing Amsterdam.

Bernard S., Lacombe S., Lancelot L., Sabinot C., Herrenschildt, B. (2014). Dynamique des habitudes, des pratiques et des savoirs relatifs à l'usage et à la gestion du littoral et de la mer dans un contexte de pression industrielle sur le milieu et de changements sociaux. Rapport LIVE-CCCE. 219 P.

Birnbaum P. & Mangeas L. (2013). Projet CoRiFor : Caractérisation des connectivités structurelles et fonctionnelle des paysages fragmentés sur sols ultramafiques. Rapport CNRT Nickel et son environnement. 38 p.

Bordez L. (2015). *Stratégies de revégétalisation des maquis miniers nickélifères de Nouvelle-Calédonie : étude sur les potentiels biologiques des topsoils et leur gestion en vue de leur utilisation pour la restauration écologique des milieux dégradés*, Thèse en Ecologie végétale et microbiologie, Université de Nouvelle-Calédonie, 305 p.

Chazeau, J. (1993). Research on New-Caledonia terrestrial fauna : achievement and prospects. Biodiversity Letter (1) : 123-129 p.

Chazeau J. (2000). Préface in Bauer A. M. and Sadlier R.A. (Eds), *The Herpetofauna of New-Caledonia*. Society of the study of amphibian and reptiles.

Chevalier L. (1996). Terre de fer et de jade : De la Baie de Prony à l'Île Ouen, 149 pp. (Eds du Cagou Nouméa, New Caledonia).

Demenois J. (2017). *Quelle influence des symbioses mycorhiziennes et des traits racinaires sur l'érosion des sols tropicaux ? Application à la restauration écologique des écosystèmes forestiers dégradés de Nouvelle-Calédonie sur Ferralsols développés sur substrats ultramafiques*, Thèse en Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques, Université de Montpellier, 230 p.

Desmoulin F. et Barré N. (2004). Inventaire et écologie de l'avifaune du plateau de Goro. Rapport d'étude. 45 p.

Dumas P., 2004, *Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée. Application en Nouvelle-Calédonie*, Thèse de géographie, Université d'Orléans, 402 p.

Espirat J.J. (2004). La flore et la faune de Nouvelle-Calédonie. Futura Sciences.

Hope G.S. (1996). History of Nothofagus in New Guinea and New Caledonia. The ecology and biogeography of Nothofagus forests (Ed. by T.T. Veblen R.S. Hill & J. Read), pp 257-270, Yale University Press, USA.

Hope G.S. & Paske J. (1998). Pleistocene environmental upheaval in New Caledonia. *Plaeogeography, Palaeoclimatology and Palaecology*. (142) : 1-21 p.

ISEE. (2015). La population aux différents recensements. : <https://www.isee.nc>

Jaffré T., Rigault F. et Munzinger J. (2012). La végétation de Nouvelle-Calédonie in Atlas de la Nouvelle-Calédonie. IRD Eds. Planche 16.

Jaffré T. and L'Huillier L., (2010). La végétation des roches ultramafiques ou terrains miniers. Pp. 45-103. In L'Huillier L., Jaffré T. and Wulff A. *Mines et Environnement en Nouvelle-calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration*. (Eds) IAC, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 412 p.

L'Huilier L., Jaffré T. and Wulff A., (2010) *Mines et Environnement en Nouvelle-calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration*. (Eds) IAC, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 412 p.

Littoralys, 2014. Etude stratégique pour un développement durable de la baie de Prony. Phase 2: Orientations d'aménagements et de développement – commune de Mont-Dore, Province Sud –Rapport 66 p.

Marquié J., Lefrançois E., Dominique Y. et Delmas F., (2014). Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie : Conception d'un atlas taxinomique et d'un indice de bio-évaluation de la qualité des cours d'eau à partir des diatomées benthiques. Phase 2. 39 p.

McCoy S., Jaffré T., Rigault F., Ash J. E. (1999) Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia. *Journal of Biogeography* 26: 579-594

Programme INC-NC: Incendie et Biodiversité des écosystèmes en Nouvelle-Calédonie, 2012. Compte rendu de fin de projet. 63 p.

Richers de Forges B. & Pascal M., 2008. La Nouvelle-Calédonie, un " point chaud" de la biodiversité mondiale gravement menacé par l'exploitation minière. *Le Journal de la Société des Océanistes*. 126-127 pp.

Rios J. & Lefeuvre C. (2011). Continuités écologiques du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie. Rapport d'étude. 83 p.

Routhier P., (1953). Étude géologique du versant occidental de la Nouvelle-Calédonie entre le col de Boghen et la pointe d'Arama (thèse). *Mém. Soc. Géol.Fr. Paris*, t. 32, fasc. 1, 3, no 67, 271 p.

Trajectoire, 2014. Rapport d'évaluation du dispositif de gestion de la Zone Côtière Ouest. Rapport 62 p.

Vigne A., 2000, *Les terres coutumières et le régime foncier en Nouvelle-Calédonie*, mémoire de DEA sociologie du droit, Université Paris II, Panthéon-Assas, 76p. [On line], [08/04/2014]

Wantiez L, Frolla P, Gouroparawa D, Keller F (2012). Etat initial du récif des 5 Miles, commune du Mont Dore. Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, Aquarium des lagons. 44 pages.

Soutter, M., Mermoud, A., & Musy, A. (2007). *Ingénierie des eaux et du sol - Processus et aménagements*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

Wiersum, K. (1984). Effect of various vegetation layers in an *Acacia auriculiformis* forest plantation on surface erosion in Java, Indonesia. 79-89.

CI, 2016. Eléments de cadrage pour une stratégie de régulation des cerfs en Nouvelle Calédonie : zones prioritaires, vision, objectifs et ressources nécessaires. 70 p.

Maurizot, P et Lafoy, Y 2003. L'aléa naturel mouvements de terrain en Nouvelle-Calédonie. Synthèse des connaissances. BRGM. 179 P.

Annexes :

1 ANNEXE 1 : CR DES COTECH

2 ANNEXE 2 : EXEMPLE DE GRILLE MULTICRITERES

Annexe 2 : Détails des valeurs des variables de la grille multicritères proposée par Geo Impact afin de définir des priorités des sites à restaurer sur base de la grille provinciale et du Fonds Nickel

Tableau 9 – Grille d’appréciation des risques et enjeux sur les sites dégradés utilisée par le Fonds Nickel et la province Sud

Poids	Critères	Notes					
		5	4	3	2	1	0
2	Ampleur de dégradation	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
4	Dynamique de dégradation	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
3	Impact sur ressource en eau	PPE, amont captage AEP	AEP souterrain, captage	Amont forage, puits	/	/	Non
2	Impact sur cours d’eau	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
1	Impact sur lagon	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
2	Impact sur habitat et population	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
2	Impact sur infrastructures	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
2	Impact sur activités économiques	Très fort	Fort	Moyen	Faible Ne sait pas	Très faible	Non
1	Impact sur biodiversité terrestre	CR EN	VU NP RR	Services écosystémiques	/	Hors KBA	/
1	Impact visuel	Très fort	Fort	/	Faible Ne sait pas	Très faible	Non

PPE : Périmètre de Protection Eloignée, EN : En danger ; CR : en danger Critique d’extinction ; VU : Vulnérable ; NP : Priorité Nationale ; RR : Répartition limitée ; KBA : zones clés de biodiversité

(Fonds Nickel, pour ce qui est des sites miniers « orphelins », et la province Sud, pour ce qui est de la réhabilitation des sites dégradés hors sites miniers)

Les précisions suivantes sont extraites de l’étude de Géo Impact sur Cap N’Dua (2012) et apportée sur la grille

- **Ampleur de dégradation**

L’ampleur de la dégradation est approchée par le calcul des surfaces de végétation dégradée, de sols nus, de lavakas et des ravines. Chaque type de surface est pondéré d’un coefficient comme suit :

- ravine: coefficient 4, ce sont les formes d’érosion les plus représentatives de l’état de dégradation du site ;
- lavaka : coefficient 3, c’est une forme d’érosion plus diffuse que la ravine ;
- sol nu : coefficient 2, il s’agit d’un environnement propice aux développements de forme d’érosion ;
- végétation dégradée : coefficient 1, il s’agit d’un environnement moins favorable au développement de forme d’érosion.

La moyenne pondérée de surface dégradée est alors calculé selon la formule (1) :

$$\text{moyenne pondérée} = \frac{(SR \cdot \text{coeff. ravine} + SA \cdot \text{coeff. arrach} + SL \cdot \text{coeff. lavaka} + SSN \cdot \text{coeff. sol nu} + SVD \cdot \text{coeff. vég. dégrad.})}{(\sum \text{coeff.})} \quad (1)$$

Avec : SR : surface de ravine

SA : surface d'arrachement

SL : surface de lavaka

SSN : surface de sol nu

SVD : surface de végétation dégradée

La moyenne pondérée est ensuite normalisée afin d'obtenir une note finale de l'ampleur de dégradation. La valeur normalisée est calculée selon la formule (2) :

$$\text{valeur normalisée} = \left(\frac{(\text{valeur} - \text{valeur min})}{(\text{valeur max} - \text{valeur min})} (\text{norm max} - \text{norm min}) \right) + \text{norm min} \quad (2)$$

- **Impact sur habitat et population**

Le calcul de la note de l'impact sur les habitats et les populations se base sur le calcul de la distance entre le périmètre des sites cibles et les zones d'habitation. Le barème est établi comme suit :

- 5 : habitation à moins de 50 m du site ;
- 4 : habitation entre 50 et 100 m du site ;
- 3 : habitation entre 100 et 200 m du site ;
- 2 : habitation entre 200 et 500 m du site ;
- 1 : habitation entre 500 et 1 000 m du site ;
- 0 : habitation à plus de 1 000 m du site.

- **Impact sur activités ou sites économiques**

Le calcul de la note de l'impact sur les activités ou sites économiques se base sur le calcul de la distance entre les sites et les zones d'habitation. Le barème est établi comme suit :

- 5 : bâtiment à moins de 50 m du site ;
- 4 : bâtiment entre 50 et 100 m du site ;
- 3 : bâtiment entre 100 et 200 m du site ;
- 2 : bâtiment entre 200 et 500 m du site ;
- 1 : bâtiment entre 500 et 1 000 m du site ;
- 0 : bâtiment à plus de 1 000m du site.

- **Impact sur la biodiversité terrestre**

L'impact sur la biodiversité terrestre a été approché en se basant sur la cartographie des milieux naturels en province Sud. Cette cartographie donne pour chaque formation végétale un niveau d'intérêt écologique. L'intérêt écologique est évalué par un indice à 4 valeurs selon la typologie suivante :

- 4 : milieu exceptionnel, identifié et cartographié ;
- 3 : milieu naturel essentiel à la préservation de la biodiversité. Il représente souvent des milieux peu dégradés ou peu anthropisés, des milieux rares ou originaux, abritant un grand nombre d'espèces, des espèces rares, vulnérables ou emblématiques ;

- 2 : milieu d'intérêt important pour la conservation de la biodiversité. Il abrite en majorité des espèces endémiques, dont certaines peuvent être rares. Ce milieu naturel peut être partiellement dégradé mais conserve un potentiel d'évolution positive ;
- 1 : milieu de faible importance pour la conservation de la biodiversité. Il abrite des espèces introduites ou communes. Il peut également représenter des milieux naturels fortement dégradés (maquis minier ouvert) ;
- 0 : formations sans priorité de conservation (exemple : plantation ou verger).

- **Impact visuel**

L'estimation de l'impact visuel est approchée en calculant une carte de co-visibilité depuis les points d'observations du site. Les cartes de co-visibilité créées sont des cartes qui ne tiennent pas compte de la végétation.

La note est déterminée par rapport à la surface de co-visibilité la plus grande :

- 4 : visible depuis 2 points d'observation ;
- 3 : visible depuis 1 point d'observation ;
- 0 : non visible.

3 ANNEXE 3 : FICHE TECHNIQUES GENIE CIVIL ET GENIE BIOLOGIQUE

Fiche 1. Travaux de correction des ravines par seuils

Objectif

L'objectif principal des seuils de consolidation est de stabiliser le fond de la ravine (ou du lit d'un torrent), voire même de le surélever, pour lutter contre l'affouillement longitudinal et stabiliser les berges. Ils permettent notamment d'éviter un emballement des phénomènes érosifs (incision généralisée du fond du lit pouvant provoquant une déstabilisation massive des berges ...). L'atterrissement qui se développe en amont des seuils est propice au développement spontané – ou parfois assisté - de la végétation, du moins tant que la surface drainée reste faible (< 1 ha).

Principe et domaine d'utilisation

Les travaux consistent à disposer des seuils ou barrages de consolidation en travers des lits des torrents (ou des ravines, on parle alors de petites corrections), sur des tronçons fortement érodables. Pour que le dispositif soit le plus efficace, il faut en général mettre en place une série de seuils ou barrages « en cascade » (ou « en escalier ») en partant de l'aval vers l'amont, préférentiellement depuis un point dur (*substratum* rocheux) ou à défaut, résistant suffisamment à l'affouillement (ex. : radier, amas de très gros blocs ...). Dans l'idéal, les ouvrages sont disposés de façon à ce que l'atterrissement du seuil aval atteigne *a minima* le pied du seuil amont. Sur les ravines, il est peut-être difficile de disposer véritablement d'un point dur ; on partira alors d'une zone de faible pente où l'incision de lit restera modérée, au besoin en pavant le lit de pierres ou blocs.

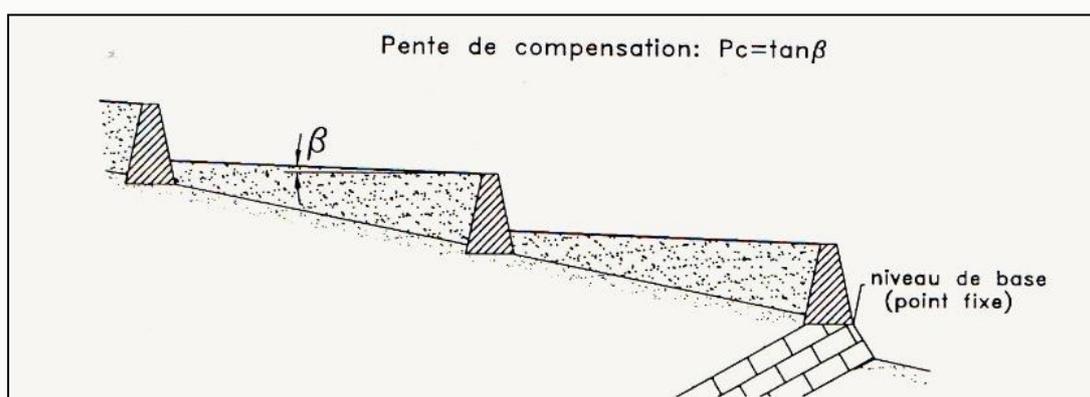


Figure 30. Croquis illustrant la conception et le calcul des barrages de correction torrentielle (C. Deymier et al., 1994)

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Les seuils peuvent être construits :

- avec des pierres ou des blocs : pierres sèches ou contenues dans des cages de gabion métallique ;
- avec une structure métallique remplie de matériaux en amont : métal déployé, terrasses grillagées, triangle auto-stable ... ;
- en bois « morts » : seuils à simple ou double paroi ;
- en matériaux composites remplis de terre (ex. Terralock).

Des seuils en bois « vivants » (ex. : clayonnage, fascinage, palissade), s'appuyant donc sur le génie biologique peuvent aussi être mis en place et sont évoqués ultérieurement.

Par ailleurs, nous n'évoquons pas ici le béton qui peut aussi être employé, mais pas forcément opportun dans le cadre d'une opération de restauration.



Seuil rustique en pierres



Seuil en gabions – La Coulée (Mont Dore)



Seuil en triangle auto-stable - Mine Yolande (Thio)



Seuil en Terralock (la coulée)



Seuil en bois simple paroi - Déva (Bourail)



Seuils double paroi – Cap N’Dua

Figure 31. Différents exemples de seuils

Pour les ouvrages en bois « morts », on distingue :

- les seuils à simple paroi : il s’agit d’un assemblage horizontal de rondins en bois dont la stabilité est assurée par l’ancrage des traverses dans les berges, renforcé par des pieux battus ou scellés dans le sol à l’aval immédiat. Des broches métalliques assurent l’assemblage entre rondins afin de constituer le corps de l’ouvrage. Un bon encastrement, profondément ancré dans les berges (une longueur minimale de 1 mètre est recommandée) est nécessaire pour éviter leur déstabilisation, voire leur contournement suite à l’érosion des berges (érosion amplifiée localement par les travaux récents) ;

- les seuils à double paroi : il s'agit de caissons en rondins de bois remplis de matériaux inertes agissant comme une structure « poids ».

Le choix du type d'ouvrage dépend de nombreux paramètres : contexte du site (largeur du lit...), conditions d'accès au site, nature des terrains (conditions d'ancrage en berge ...), matériaux disponibles, compétences des entreprises locales ...

L'écartement entre les ouvrages dépend du contexte hydraulique, de la pente et de la granulométrie des matériaux transportés. Si une zone de dépôt « alluvionnaire » est observable sur site à proximité, on mesure cette pente et on retient en général une pente d'atterrissement à moyen terme égale aux 2/3 de cette dernière.

La confection d'une cuvette pour recentrer les écoulements et un bon encastrement dans les berges sont indispensables pour éviter un contournement de l'ouvrage.

Dans un premier temps, seuls les matériaux les plus fins sont arrêtés à l'arrière de l'ouvrage, la pente résultante sera quasiment horizontale. Elle augmentera ensuite progressivement au gré des crues et selon la granulométrie des matériaux transportés.

Fiche 2. Travaux de terrassement – Ecrêtement des berges et des talus

Objectif

L'objectif est d'écrêter la bordure supérieure de la niche d'arrachement et les talus sub-verticaux.

Principe et domaine d'utilisation

Il s'agit de reprofiler les berges et talus instables. Le principe est, soit de confectionner une pente régulière « stable » (valeur de pente à atteindre variable selon le type de sol), soit de créer des redans dans la pente (création de banquettes étroites, terrasses ou risbermes plus larges) ou de combiner les deux techniques. Dans la mesure du possible, on essaie d'équilibrer les déblais-remblais sur place. Les blocs ou pierres récupérés lors des terrassements peuvent être utilisés pour construire des petits seuils en pierre, des drains, des descentes d'eaux ou pour paver le fond des ravines, notamment à l'aval immédiat des seuils de consolidation.

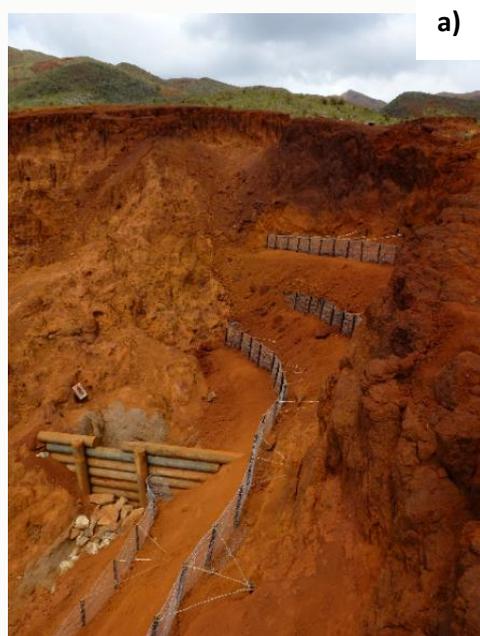


Figure 32. Exemple de travaux de terrassement et d'écrêtement des berges et des talus

a) Terrasses grillagées en cours de construction b) terrasses grillagées après travaux et écrêtement des berges rive gauche

Dans les zones où la pente moyenne est trop forte, il peut être opportun d'associer ces travaux de terrassement avec la création de banquettes ou terrasses grillagées, voire de clayonnage ou fascinage. Les matériaux écrêtés à l'amont permettent ainsi de remplir les terrasses grillagées. Selon les conditions d'accessibilité au site, les travaux doivent parfois se faire manuellement ou à la pelle araignée.

Limites

Ces travaux peuvent générer durant une courte période un départ plus important de matériaux, puisque les terrains ont été remaniés, décompactés et que la surface concernée est souvent plus grande qu'au départ (extension de la niche d'arrachement). Ceci est notamment vrai dans le cas des lavakas où les talus sub-verticaux existants en périphérie sont souvent protégés par la cuirasse. Ces terrassements sont en effet à l'origine d'une régression de la bordure externe de la niche d'arrachement, le principe étant que l'ensemble de l'emprise du terrassement soit à terme revégétalisé. Si la revégétalisation et le traitement des parties hautes des berges des lavakas ne sont pas prévus, il est préférable alors de s'abstenir de pratiquer de tels terrassements et conserver la protection de la cuirasse.

Fiche 3. Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie civil

Objectif

Ces travaux visent à stabiliser les pentes des talus et versants (réduction des phénomènes érosifs, du ravinement et de ruissellement qui s’y développent) pour permettre la réinstallation de la végétation. Leur rôle est de créer de petits atterrissements (« redans » dans la pente) permettant de stabiliser la frange supérieure du terrain, d’améliorer temporairement les conditions du milieu, et donc à la végétation de s’y installer naturellement ou artificiellement.

Principe et domaine d’utilisation

Les travaux consistent à mettre en place des ouvrages linéaires, dirigés suivant les courbes de niveau du terrain, en génie civil, pour réduire localement les pentes des versants, ce qui améliore la stabilité des terrains et permet ou facilite le développement de la végétation sur leur atterrissement. Cette technique combine une consolidation de type mécanique et une reconstitution de la végétation.

Le domaine d’utilisation privilégié est en terrain instable, sujet à l’érosion et au ravinement sur lequel ces phénomènes érosifs sont suffisamment intenses pour empêcher l’installation naturelle de la végétation. Il s’agit typiquement de terrains meubles avec des pentes de versant soutenues (> 20-25°), mais pas trop (<45-50°), en dehors de zones d’éboulis vifs et de secteurs trop exposés aux chutes de blocs.

Type d’ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Des techniques de génie civil peuvent être employées. Il peut s’agir de :

- mur, murette ;
- terrasses grillagées ou en métal déployé ;
- caisson de soutènement en bois « morts », gabions ...

Ces ouvrages font en général 50 cm de hauteur.

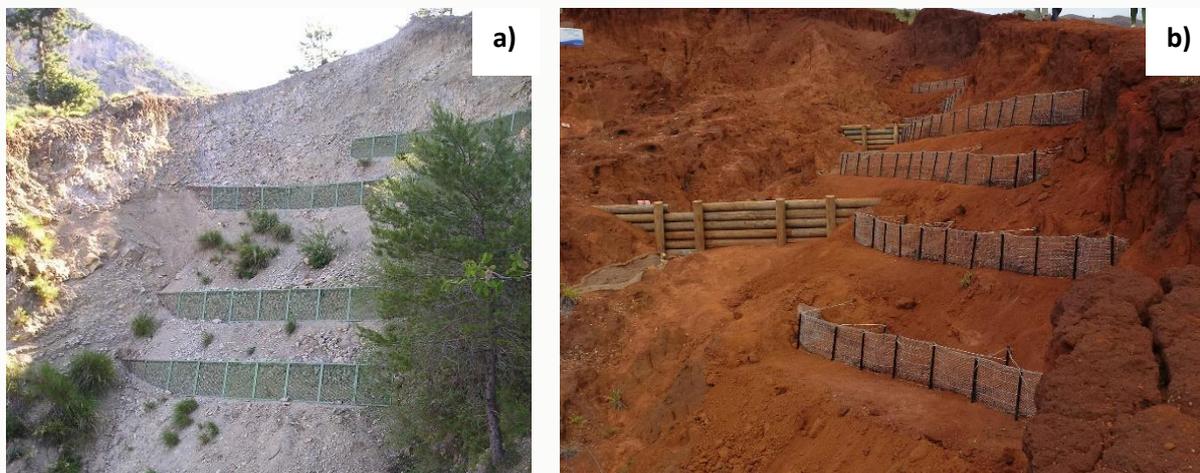


Figure 33. Exemple de travaux de stabilisation des pentes et versants par génie civil

a) banquettes en métal déployé

b) banquettes grillagées en cours de construction

Limites

En l’absence de recolonisation par la végétation et selon l’écartement des lignes, les phénomènes érosifs continuent à se développer et peuvent à moyen terme affouiller les lignes d’ouvrages et compromettre leur pérennité. C’est bien l’association du traitement de versant et de la revégétalisation qui apporte une bonne efficacité à moyen ou long terme. En cas d’instabilité majeure du versant ou de la berge (glissement profond), les techniques de traitement de versant ne suffisent en général pas à stabiliser les pentes.

Fiche4 : Travaux de stabilisation des pentes et versants par génie biologique

Objectif

Ces travaux visent à stabiliser les pentes des talus et versants pour permettre la réinstallation de la végétation. Leur rôle est de créer de petits atterrissements permettant de stabiliser la frange supérieure du terrain, d'améliorer temporairement les conditions du milieu, et donc à la végétation de s'y installer naturellement ou artificiellement.

Principe et domaine d'utilisation

Les travaux consistent à mettre en place des ouvrages « biologiques » linéaires, dirigés suivant les courbes de niveau du terrain, afin de réduire localement les pentes des versants. Cette technique combine une consolidation de type mécanique et une reconstitution de la végétation.

Le domaine d'utilisation privilégié est en terrain instable, sujet à l'érosion et au ravinement sur lequel ces phénomènes érosifs sont suffisamment intenses pour empêcher l'installation naturelle de la végétation.

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Les techniques de génie biologique vont consister en la mise en place d'ouvrages d'environ 50 cm de hauteur de type :

- fascines : petites barrières constituées de piquets (boutures, ou bois mort) derrière lesquels des boutures sont empilées en fagots ;
- clayonnages : les boutures sont alors tressées autour des pieux ;
- palissades : petites barrières de pieux, vivants ou morts, derrière lesquels des boutures sont empilées en rangées verticales.

Ces techniques végétales (fascines, clayonnage, palissade) peuvent par ailleurs être utilisées en traitement de ravines évoqués précédemment afin de créer de petits seuils « vivants ».

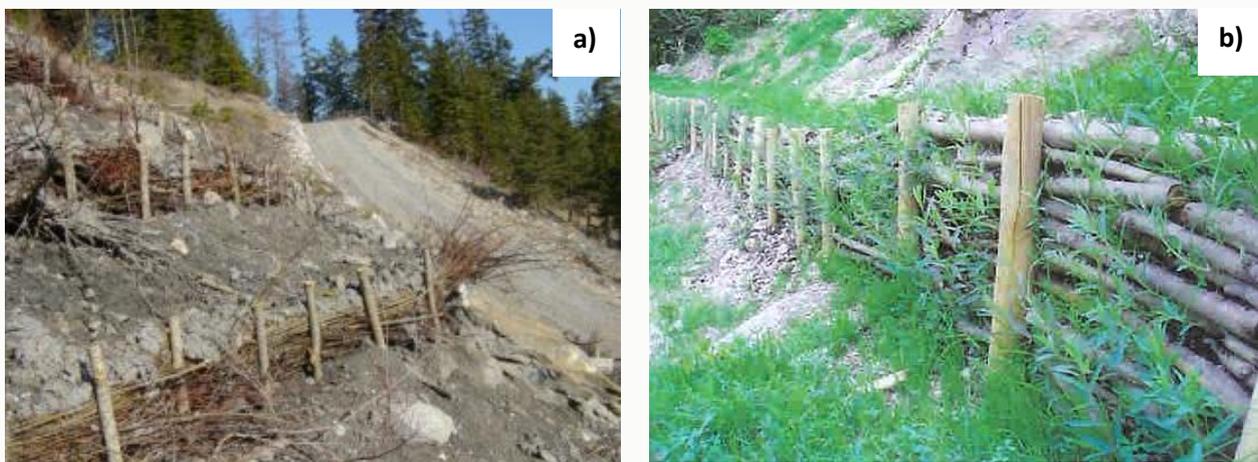


Figure 34. Exemple de travaux de stabilisation des pentes et versants par génie biologique

a) fascines

b) palissade et revégétalisation

Limites

Il est indispensable de choisir des espèces parfaitement appropriées aux conditions locales de sol et de climat, donc susceptibles de prospérer et de se propager. A défaut de boutures, il est possible d'utiliser du bois « mort » pour constituer les ouvrages, mais les résultats escomptés sont moins bons (pas de reconstitution directe de la végétation, y compris du parement, pas d'enracinement et de développement des pieux). Il faut alors obligatoirement bouturer ou planter le remblai à l'amont du parement. Cette technique est notamment utilisée après un incendie où l'on crée des fascines à partir des bois brûlés. Même si cela n'est pas optimal, cela permet de

réduire des phénomènes d'érosion post-incendie, les dépressions en amont des fascines s'atterrissent progressivement et deviennent des zones propices à une revégétalisation naturelle ou artificielle.

Fiche 5 Travaux de correction de petites ravines par garnissage

Objectif

L'objectif principal est de lutter contre l'érosion par fixation des sols et par protection contre les agents érosifs.

Principe et domaine d'utilisation

La végétation apporte également une protection « passive » de proximité par piégeage et rétention des sédiments (ex. : effet barrière de la végétation) et permet enfin d'améliorer les fonctionnalités des sols indispensable à une recolonisation spontanée par la végétation. Les garnissages agissent en freinant l'écoulement de l'eau et en piégeant les sédiments.

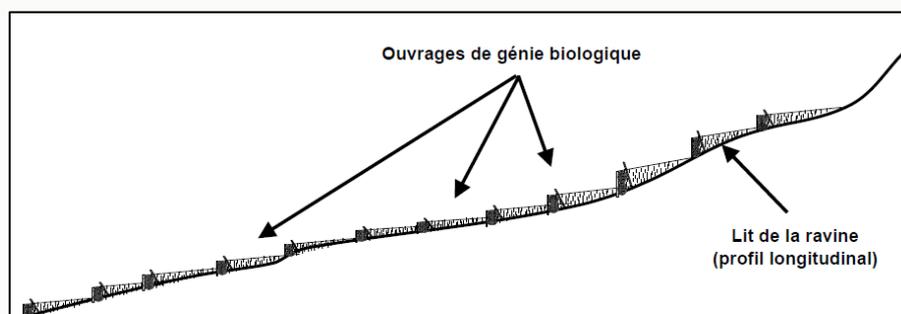


Figure 35. Principe d'intervention dans une petite ravine avec des ouvrages de génie biologique (F. Rey, 2002)

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Les travaux consistent à créer un tapis de végétaux, plants, boutures ou branches tournées vers l'amont, plaqués au sol dans le lit des ravines ou sur les versants, et recouverts de terres. L'échelle optimale d'action de la végétation contre l'érosion est celle de la ravine de moins d'un hectare. Les végétaux installés jouent ainsi un double rôle actif et passif dans la rétention des matériaux d'ablation. En l'absence de substrat favorable et/ou si le fond des ravines est trop étroit, une correction par petits seuils permettra de développer des zones de moindre pente propice à l'arrêt des fines et donc au développement ultérieur de la végétation.

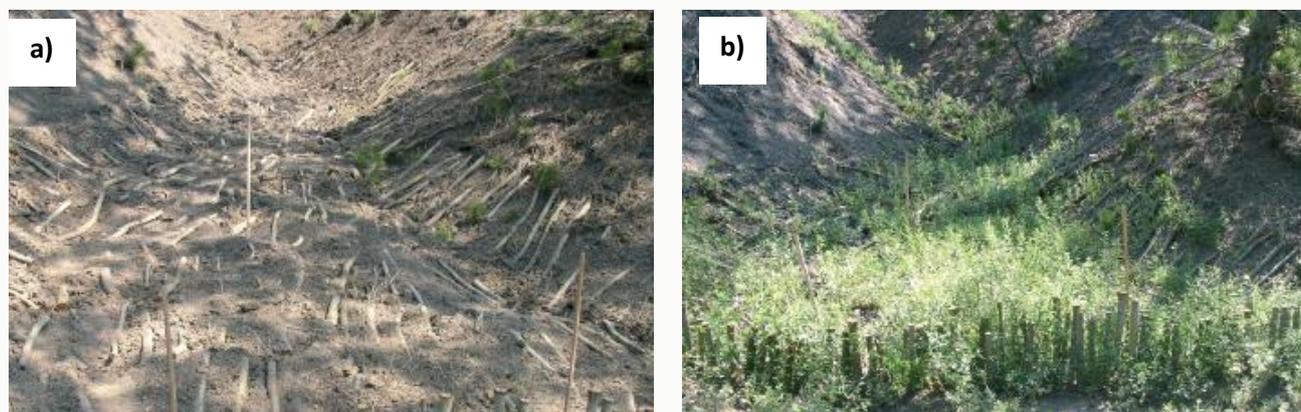


Figure 36. Garnissage de boutures couchées en fond de ravine

a) mise en place

b) après une saison

Limites

A notre connaissance, cette technique de garnissage n'a pas été utilisée en Nouvelle Calédonie. Elle nécessite une quantité importante de matériel végétal, de surcroît bouturable, pas forcément disponible à proximité.

Fiche 6 : Traitement de versants peu pentus et/ou stables par cordons ou boudins

Objectif

L'objectif principal est de lutter contre l'érosion diffuse due au ruissellement et de permettre la revégétalisation.

Principe et domaine d'utilisation

Ces travaux consistent à disposer des lignes de défense continues ou discontinues (disposées alors de préférence en quinconce) pour freiner le ruissellement, afin de contrôler l'érosion diffuse. Ces travaux n'ont en revanche pas - ou peu - de vocation de stabilisation des terrains.

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Deux types d'ouvrages peuvent être mis en place :

- les cordons : les cordons sont des rangées de boutures ou de plants, disposées en courbe de niveau. Les rangées sont en général espacées de 3 à 6 m selon la pente du versant. Ils forment à terme de petites haies continues ou discontinues. Si les cordons plus ouverts retiennent moins bien les sédiments, ils permettent en revanche une végétalisation directe ;
- les boudins : le principe est identique aux cordons, mais avec des boudins (ex. : géo-filets, géo-conteneurs...). Les lignes sont alors plus « étanches » à l'eau que dans le cas de cordons. Les boudins peuvent être végétalisés et/ou bouturés.

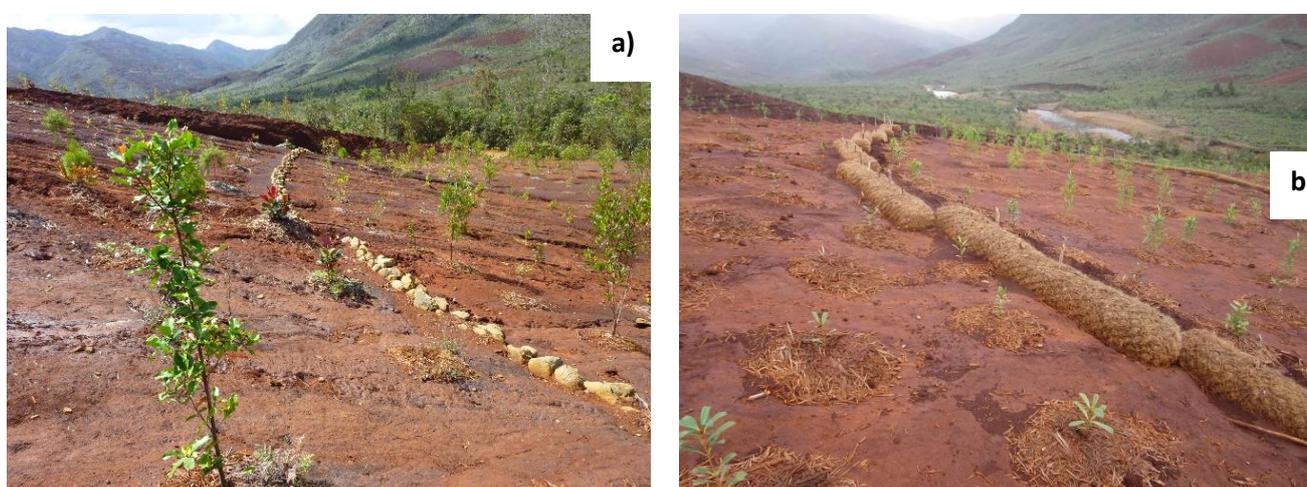


Figure 37. Exemples de cordons et de boudins sur le site de la Coulée

a) cordon de pierres

b) boudin en fibres de coco

La mise en place de boudins sur les terrains indurés permet de lutter contre l'accélération des écoulements sur la latérite indurée, et éventuellement de renvoyer les eaux collectées vers un lavaka adjacent. Ceci peut ainsi permettre de drainer un impluvium plus important en surface, ce qui peut être favorable à la végétation implantée dans les ravines drainant une surface insuffisante (< 1000 m²).

Il est préférable de disposer des éléments en élévation par rapport au terrain naturel, plutôt qu'en décaissement (colmatage rapide de la dépression), même si un léger décaissement est parfois nécessaire. Selon la hauteur relative des obstacles par rapport à la pente amont, ces derniers peuvent être rapidement comblés et submergés. Une implantation avec une légère inclinaison vers l'aval est alors recommandée (légère courbure concave des rangées vers l'amont).

Limites

L'eau peut ruisseler le long des boudins pouvant être à l'origine de l'apparition d'une rigole. Il faut parfois traiter le rejet des eaux dans le lavaka adjacent pour éviter une déstabilisation des terrains à l'exutoire du boudin.

Fiche 7 : Utilisation des topsoils

Objectif

L'objectif principal est favoriser l'implantation et le développement de plantes par régénération naturelle et ainsi permettre la revégétalisation.

Principe et domaine d'utilisation

Le « topsoil » comme outil de restauration écologique des terrains miniers dégradés, consiste à récupérer les premiers centimètres d'un sol, couche naturellement riche en matières organiques, semences et micro-organismes, puis à l'épandre sur les sites à restaurer. Cette méthode présente l'avantage de permettre l'implantation naturelle d'espèces indigènes naturellement adaptées au site, notamment des espèces difficiles à implanter par d'autres méthodes, d'enrichir la diversité spécifique, de permettre le développement de symbioses mycorhiziennes. Lorsque l'épandage de topsoil est couplé avec des plantations ou des ensemencements, il permet d'obtenir de très bons résultats, reconstituant en quelques années un couvert végétal sur une zone dénudée.

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Les principales recommandations du projet ECOMINE BIOTOP (CNRT, 2014) et des travaux de thèse de L. Bordez (2015) concernant l'utilisation des topsoils sont les suivantes :

- prélever le topsoil sur une épaisseur la plus faible possible (moins de 30 cm voire 10 cm), entre décembre et mars de préférence, en évitant les périodes très pluvieuses ;
- gérer distinctement les topsoils selon le couvert végétal d'origine ;
- utiliser le topsoil de préférence frais. Limiter la durée de stockage à 6 mois si en andain haut (10 m) ou stocker les topsoils sur de plus petites hauteurs, en combinaison avec un ensemencement des tas de topsoils. Dans tous les cas, limiter le stockage à 2 ans ;
- étaler le topsoil de préférence en saison chaude, entre novembre et mai, pour faciliter l'implantation des espèces à graines dormantes et réintégrer le topsoil dans un environnement topographique proche des conditions d'origine ;
- utiliser le topsoil conjointement à la plantation ou à l'ensemencement. Planter des espèces végétales préalablement mycorhizées. Il est possible d'apporter les champignons mycorhiziens sous forme de spores avec les graines à l'intérieur du mulch utilisé en ensemencement hydraulique ou sec.

Figure 38. Exemples d'utilisation du topsoil à Goro



- a) récupération du topsoil après décapage
- b) topsoil étalé

Limites

La limite principale de cette technique manque fréquent

a) tout d'abord dans l'absence ou le de topsoil de qualité, comme dans le cas des mines « orpneines ». Par ailleurs, sa manipulation, pour qu'il conserve notamment ses qualités pour permettre le développement des espèces, peut être difficile. Enfin, les caractéristiques des topsoils sont hétérogènes, tout comme les résultats de revégétalisation. Il n'en demeure pas moins que l'utilisation du topsoil doit être privilégiée chaque fois que cela est possible.

Fiche 8 : Restauration des latérites compactées par ingénierie écologique

Objectif

L'objectif principal est de favoriser l'implantation et le développement de plantes sur latérites compactées et ainsi permettre leur restauration.

Principe et domaine d'utilisation

Sur les versants stables et/ou peu pentus du Grand Sud, les travaux conjoints de l'IAC, Irstea et INRA (J. Demenois, 2017) ont mis en évidence que la mise à nue, partielle ou totale, des latérites est propice à leur compaction, du moins superficielle, par effet « splash » provoqué par les gouttes de pluie. De fait, les techniques de génie biologique doivent prendre en compte ce facteur limitant. En effet, les effets négatifs de la compaction des sols sur la croissance des plantes ont été largement mis en évidence et limiteraient les possibilités de reconstituer un couvert végétal. Cette compaction rendrait la germination, la survie et la croissance des plantes d'autant plus difficile. Elle constituerait d'une part une barrière physique à la pénétration de la racine dans le sol puis au développement des autres racines, et d'autre part elle altérerait la porosité des sols, et donc l'approvisionnement en eau et les échanges gazeux indispensables aux plantes. La sensibilité des plantes à la compaction du sol est toutefois variable selon les espèces.

La technique de restauration des latérites compactées vise à décompacter le sol en associant un travail superficiel du sol, à tirer bénéfice de la microtopographie et des obstacles naturels (ex. : blocs de cuirasse) au ruissellement, à fixer les sols grâce aux systèmes racinaires plantes et à augmenter le couvert végétal.

Type d'ouvrages – Matériaux constitutifs – Dispositions constructives

Les travaux de thèse de J. Demenois (2017) suggèrent la mise en œuvre de cette méthode selon la séquence suivante :

- travailler superficiellement le sol afin de le décompacter. Ce travail du sol devrait rester superficiel (< 10 cm), être réalisé selon les lignes de niveau pour éviter la création de griffes d'érosion du fait du ruissellement et être fait à l'aval d'obstacles physiques au ruissellement (e.g. zones végétalisées, blocs rocheux) ;
- ajouter des obstacles naturels au ruissellement (ex. : blocs de cuirasse) afin de favoriser la création de zones de sédimentation favorables à l'implantation de végétation ;
- semer des espèces herbacées associées à des mycorhizes, afin de limiter, grâce à la création d'un premier couvert végétal, le risque de recompaction. Les Cypéracées endomycorhizées (*Costularia comosa*, *Costularia nervosa*, *Costularia pubescens*, *Schoenus neocaledonicus*), et en particulier *C. arundinacea*, constituent des espèces-outils permettant de fixer le sol *via* leurs racines et les mycorhizes associées, mais aussi à enrichir le sol en carbone organique ;
- planter des espèces ligneuses associées à des mycorhizes avec un système racinaire en pivot, afin de poursuivre la décompaction du sol en profondeur et d'augmenter sur le moyen et le long terme la teneur en matière organique du sol. *Tristaniaopsis glauca* et *Arillastrum gummiferum* pourraient être des espèces intéressantes dans cette optique.

Ces actions de décompaction, alliant intervention physique et ingénierie écologique, devraient ainsi permettre de franchir le seuil abiotique qui limite, voire empêche, l'augmentation du taux de couvert végétal.

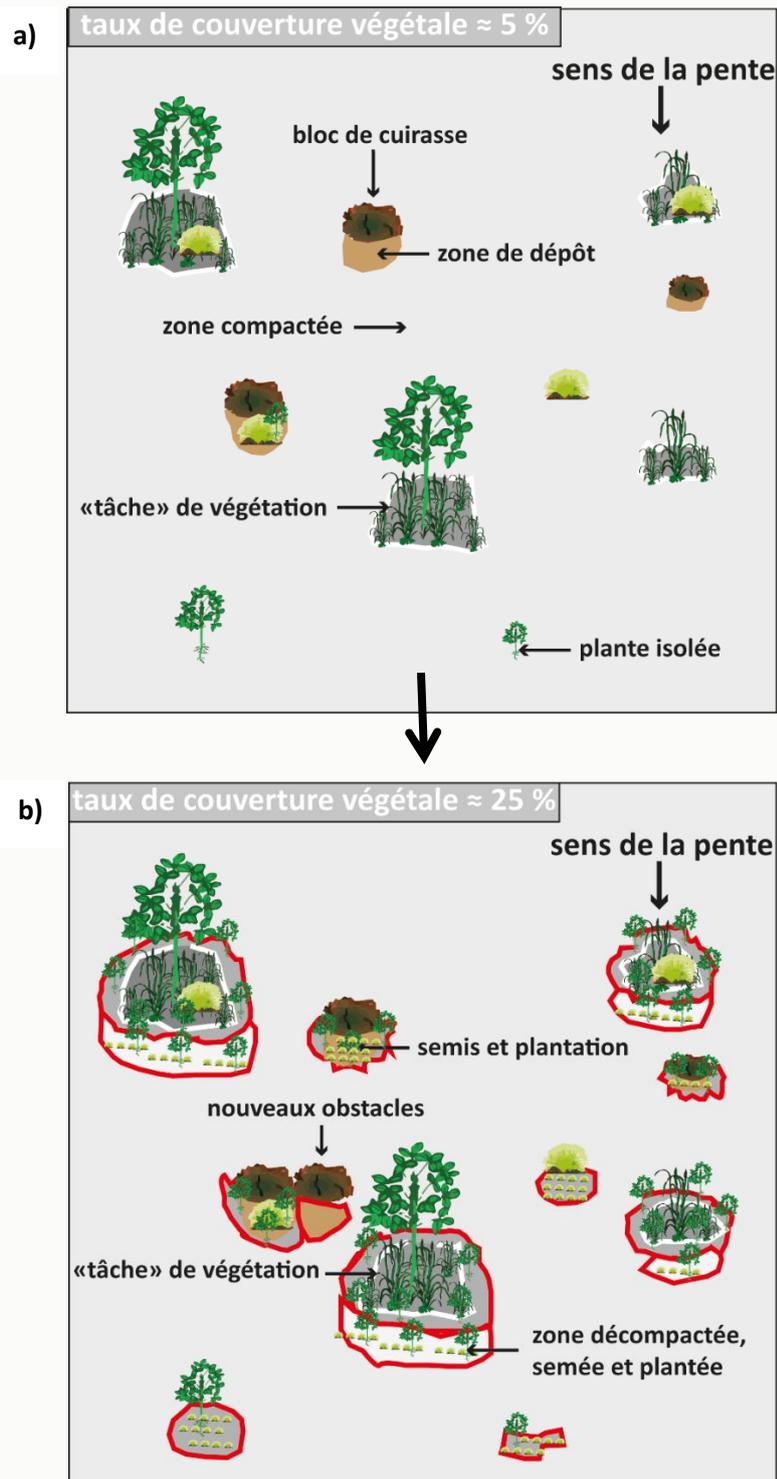


Figure 39. Schéma des actions de restauration des latérites compactées par ingénierie écologique (Demenois, 2017)

a) état initial

b) après 1^{ère} intervention

Limites

La limite principale de cette technique réside aujourd'hui dans son absence de mise en œuvre, celle-ci étant issue de travaux de recherche très récents. Il est donc nécessaire de tester celle-ci et d'en évaluer

4 ANNEXE 4 : DETAILS DU TRAITEMENT CARTOGRAPHIQUE