

# Rapport Scientifique 2022

PROGRAMME « RESTAURATION MINIÈRE »

**DÉMONSTRATION DES TECHNIQUES D'INGÉNIERIE  
ÉCOLOGIQUE POUR LA RESTAURATION MINIÈRE  
EN CONTEXTE RAVINAIRE (INNER-MINE)**



*Étude réalisée dans le cadre des programmes de recherche financés par  
le CNRT « Nickel & son environnement »*

**CNRT**  
**NICKEL**  
& son environnement

Décembre 2022

**INRAE**

**AVIGNON**  
UNIVERSITÉ

French National Research  
Institute for Sustainable  
Development  
**IRD**  
Institut de Recherche  
pour le Développement  
FRANCE

**SIRAS**  
Ecologie

**UNC**  
UNIVERSITÉ  
2011  
NOUVELLE-CALÉDONIE

Yves  
Crosaz  
consultant

# « DÉMONSTRATION DES TECHNIQUES D'INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE POUR LA RESTAURATION MINIÈRE EN CONTEXTE RAVINAIRE »

## Rapport final

Décembre 2022

Ouvrage collectif coordonné par Freddy REY (INRAE - LESSEM)

Pour le consortium INRAE – Avignon Université - IRD – UNC – SIRAS Pacifique – Yves Crosaz

### AUTEURS :

Freddy REY (INRAE)

Yves CROSAZ (Consultant indépendant)

Danielle SAINT-PIERRE, Adeline RECK, Bertrand ZIEGLER (SIRAS Pacifique)

Bruno FOGLIANI (UNC)

Hervé JOURDAN (IRD)

Thierry DUTOIT, Olivier BLIGHT (Avignon Université)

### RÉVISION DU DOCUMENT

Réf.	CSF n° 2PS2017-CNRT.IRSTEA/INNERMINE			
Version	Date	Rédacteur(s)	Qualité du rédacteur(s)	Révision pour CNRT
V1	10/12/2022	Freddy Rey (INRAE)	Coordinateur du programme	F. Trotet CNRT

### CITATION DU DOCUMENT

**Mots clés :** ingénierie écologique, restauration écologique, génie végétal, ravine

**En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :**

Rey F., Crosaz Y., Saint-Pierre D., Reck A., Ziegler B., Fogliani B., Jourdan H., Blight O., Dutoit T. (2022) – *Démonstration des techniques d'ingénierie écologique pour la restauration minière en contexte ravinaire. Rapport final (complet)*. Programme « Restauration minière ». CNRT « Nickel & son environnement. 312 pages.

## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE, PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET</b> .....	<b>5</b>
1.1. CONTEXTUALISATION SUCCINCTE DE LA PROBLÉMATIQUE POSÉE.....	5
1.2. OBJECTIFS DU PROJET .....	10
1.3. LIVRABLES .....	10
<b>2. MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>11</b>
2.1. TÂCHE 1. RÉALISATION D'UN BENCHMARK INTERNATIONAL ET LOCAL DES TECHNIQUES ET OUVRAGES QUI POURRAIENT ÊTRE ADAPTÉS AU CONTEXTE LOCAL .....	11
2.2. TÂCHE 2. SÉLECTION DES TECHNIQUES À DÉMONTRER ET TESTER.....	11
2.3. TÂCHE 3. SÉLECTION DES SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX.....	12
2.4. TÂCHE 4. CONCEPTION ET RÉALISATION DES SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX .....	13
2.5. TÂCHE 5. RÉDACTION D'UN RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE POUR LES TECHNIQUES À PROMOUVOIR .....	14
<b>3. RÉSULTATS</b> .....	<b>15</b>
3.1. TECHNIQUES ET OUVRAGES QUI POURRAIENT ÊTRE ADAPTÉS AU CONTEXTE LOCAL .....	15
3.1.1. <i>Guides et référentiels existants en génie végétal</i> .....	15
3.1.1.1. Ingénierie écologique et génie végétal .....	15
3.1.1.2. Restauration écologique de sites dégradés .....	15
3.1.2. <i>Techniques et ouvrages utilisables en contexte ravinaire (savoir-faire global)</i> .....	17
3.1.2.1. Processus érosifs et sédimentaires en contexte ravinaire .....	17
3.1.2.2. Quelles stratégies d'intervention par génie végétal en contexte ravinaire ?.....	18
3.1.2.3. Techniques et ouvrages utilisables en contexte ravinaire.....	22
3.1.2.4. Revue technique sur l'efficacité des techniques et ouvrages .....	24
3.1.2.5. Littérature scientifique sur l'efficacité des techniques et ouvrages .....	26
3.1.3. <i>Techniques et ouvrages utilisés en contexte ravinaire en Nouvelle Calédonie</i> .....	29
3.1.3.1. Liste des techniques et ouvrages utilisés .....	29
3.1.3.2. Retours d'expériences sur l'efficacité des ouvrages utilisés .....	31
3.2. TECHNIQUES À DÉMONTRER ET TESTER .....	37
3.2.1. <i>Liste des techniques et ouvrages</i> .....	37
3.2.2. <i>Stratégie type de génie végétal en contexte ravinaire</i> .....	37
3.3. SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX RETENUS.....	38
3.3.1. <i>Connaissances génériques</i> .....	38
3.3.2. <i>Sites de démonstration existant en Nouvelle Calédonie</i> .....	39
3.3.3. <i>Ravines candidates proposées par les opérateurs</i> .....	40
3.3.4. <i>Choix des sites retenus</i> .....	41
3.4. CONCEPTION ET RÉALISATION DES SITES DE DÉMONSTRATION .....	43
3.4.1. <i>Volet de maîtrise D'œuvre</i> .....	43
3.4.1.1. Liste des sites (rappel) .....	43
3.4.1.2. Les techniques proposées.....	44
3.4.1.4. Descriptif par site.....	47
3.4.2. <i>Volet pré-expérimental</i> .....	65
3.4.2.1. Choix des espèces à potentiel de bouturage .....	65
3.4.2.1.1. Rappel de l'état des pratiques en métropole.....	65
3.4.2.1.2. La démarche de présélection des espèces végétales potentielles .....	67
3.4.2.2. Description du volet pré-expérimental.....	67
3.4.2.2.1. Avant-propos .....	67
3.4.2.2.2. Matériels et méthodes .....	68
3.4.2.2.3. Premiers résultats.....	84
3.4.2.2.4. Suivi scientifique .....	87
3.5. RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE DES OUVRAGES .....	91
3.5.1. <i>Garnissage de plants (ou plantation en plein)</i> .....	92
3.5.2. <i>Cordon de plants</i> .....	93
3.5.3. <i>Garnissage de boutures</i> .....	94
3.5.4. <i>Cordon de boutures</i> .....	95
3.5.6. <i>Couche de boutures (ou couche de branches à rejets)</i> .....	96

3.5.7. Fascine de branchages .....	97
3.5.8. Fascine de boutures.....	98
3.5.9. Cordon de pierres .....	99
3.5.10. Banquette grillagée .....	100
3.5.11. Seuil en bois (paroi simple) (sans déversoir).....	101
3.5.12. Seuil en bois (paroi simple) végétalisé (sans déversoir) .....	104
<b>4. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>107</b>
<b>5. ANNEXES .....</b>	<b>112</b>

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 : Fiche terrain pour le retour d'expérience
- ANNEXE 2 : Références scientifiques listées pour le benchmark
- ANNEXE 3 : Fiches de retours d'expériences de sites visités en mai 2021
- ANNEXE 4 : Sites écartés
- ANNEXE 5 : Sites visités en novembre / décembre 2021
- ANNEXE 6 : Les espèces végétales à potentiel de bouturage
- ANNEXE 7 : Illustrations du volet pré-expérimental
- ANNEXE 8 : Carte de localisation des sites de démonstration et emplacements des ouvrages
- ANNEXE 9 : Projet d'article pour EchoSciences

# 1. CONTEXTE, PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU PROJET

## 1.1. CONTEXTUALISATION SUCCINCTE DE LA PROBLÉMATIQUE POSÉE

La Nouvelle-Calédonie est un archipel situé dans le sud-ouest de l'océan Pacifique, entre les 18e et 23e parallèles, à quelques degrés au nord du tropique du Capricorne. Les îles les plus proches sont distantes de plusieurs centaines de kilomètres (Vanuatu : 800 km, Australie et Fidji : 1500 km et la Nouvelle-Zélande : 1700 km), ce qui en fait l'un des archipels les plus isolés au monde. L'île principale, appelée Grande Terre, a une forme allongée selon un axe Nord-Ouest / Sud-Est et s'étend sur une longueur de 400 km et une largeur de 50 km pour une superficie de 16400 km<sup>2</sup>, ce qui en fait la troisième plus grande île du Pacifique sud-ouest, après la Papouasie Nouvelle-Guinée et la Nouvelle-Zélande.

La Nouvelle-Calédonie présente une diversité marquée de paysages et d'écosystèmes, résultats de la diversité du relief (depuis les plaines littorales vers les reliefs compartimentés de la chaîne centrale), des gradients de température et de pluviométrie, de la diversité des sols (regroupés par simplification en 4 catégories principales : ultramafiques, métamorphiques, volcano-sédimentaires, calcaires) (Fritsch 2012) et des différentes activités humaines (Jaffré, 1993 ; Jaffré *et al.*, 2009). Cette diversité est principalement regroupée en six catégories d'habitats natifs de l'archipel : (i) les forêts denses humides, (ii) les forêts sèches, (iii) les maquis de basse et moyenne altitude (< 900m), (iv) les maquis de haute altitude (> 900m), (v) les habitats secondaires tels que les savanes à niaoulis (*Melaleuca quinquenervia*), les fourrés à gaïac (*Acacia spirorbis*) ou à faux-mimosa (*Leucaena leucocephala*), et (vi) les mangroves des zones humides (Morat, 1993 ; Jaffré *et al.*, 1998).

L'île a été identifiée parmi les dix premiers *hotspots* de biodiversité, puis dans la liste des 36 hotspots de biodiversité à travers le globe, ces hotspots étant des espaces où l'on considère une richesse extrême faisant face à des pressions de disparitions exacerbées (Mittermeier *et al.*, 2011). L'archipel abrite une flore et une faune très riches et fortement endémiques, avec des particularités uniques au monde (Grandcolas *et al.*, 2008). Les forêts humides abritent plus de 2000 espèces végétales avec un taux d'endémisme supérieur à 82%, tandis que les maquis abritent plus de 1150 espèces végétales avec un taux d'endémisme plus marqué, de l'ordre de 90%. Au total, la Nouvelle-Calédonie compte cinq familles de plantes endémiques, au moins 108 genres et 2500 espèces endémiques, soit un taux d'endémisme de 76% (Pillon *et al.*, 2017). Ces enjeux sont exacerbés sur les sols issus des roches ultramafiques, où les sols dits miniers hébergent une large part de l'endémisme décrit précédemment (Isnard *et al.*, 2016) tout étant les milieux les plus exposés aux destructions par les activités humaines (Pascal et Richer de Forge, 2008).

Bien que les écosystèmes naturels et la biodiversité de la Nouvelle-Calédonie soient reconnus pour leur originalité, ils restent exposés à des menaces de plus en plus importantes. Les activités minières, liées principalement à l'exploitation des gisements de nickel (et à moindre mesure de cobalt et de chrome) (L'Huillier *et al.*, 2010), les feux de brousse (Ibanez, 2012 ; Gomez *et al.*, 2015) et l'introduction d'espèces exotiques, en particulier invasives (Jourdan et Mille, 2006), sont les trois menaces majeures pour l'archipel néo-calédonien. La Nouvelle-Calédonie est donc confrontée au challenge paradoxal de devoir gérer à la fois une ressource minière considérable en nickel, et une biodiversité reconnue comme une des plus originales et des plus précieuses de la planète. Il est alors essentiel de développer des moyens de gestion des terrains miniers dégradés, afin que la Nouvelle-Calédonie n'hypothèque pas ses possibilités de développement durable sur le long terme, lorsque les ressources du vivant devront pallier l'épuisement de la ressource minière.

En Nouvelle-Calédonie, l'exploitation du minerai de nickel a débuté à partir 1873 mais elle a pris son véritable essor avec la Société Le Nickel (SLN) en 1880 et l'ouverture sur la commune de Thio de la première mine (Losfeld et al. 2015). Jusqu'à fin 2007, 258 millions de tonnes humides de minerai de nickel ont été produits, correspondant à une quantité de métal contenu estimée à environ 5 millions de tonnes. Actuellement, l'exploitation est effectuée en carrière à ciel ouvert, nécessitant le décapage de la végétation et des horizons supérieurs du sol à trop faible teneur (Figure 1). Cette destruction du sol et de la couverture végétale, qui s'est accélérée entre 1950 et 1975, s'accompagne : (i) d'un accroissement de l'érosion et des transports de matériaux sur les pentes et dans les creeks, (ii) de perturbations des régimes hydriques, (iii) d'une pollution et d'un engravement des cours inférieurs des rivières et (iv) des dépôts d'alluvions dans les zones basses et le long du rivage des centres miniers (Jaffré et al., 1977 ; David et al., 2010 ; Garcin et al., 2013).



**Figure 1 : Mines de nickel à ciel ouvert en Nouvelle-Calédonie (photo F. Rey, 2015)**

Dans les années 1970, lors de la période dite du « boom du nickel », une prise de conscience des acteurs locaux a conduit les autorités à prendre des mesures de gestion des « eaux rouges », qui traduisent l'accumulation de particules terreuses dans les eaux des creeks et des baies. Des études sur les moyens géotechniques (stockage des déblais, gestion sur site de l'écoulement des eaux et de la sédimentation des particules terreuses transportées), ainsi que des moyens pour remédier aux pertes et aux effets engendrés par la destruction de la couverture végétale, ont été entrepris ou envisagés afin de limiter les dégâts sur l'environnement (L'Huillier et al., 2010).

La protection des sols contre l'érosion représente donc un enjeu actuel majeur en Nouvelle-Calédonie (David et al., 2010 ; Garcin et al., 2013). C'est le cas en particulier sur les communes de Thio et Boulouparis, où la Société Le Nickel (SLN) exploite la mine « Camp des Sapins » (Centre minier de Thio) (Figure 2). L'érosion des zones dégradées par l'exploitant engendre d'importantes productions de matériaux responsables de l'engravement du lit des rivières Jeanne et Marie, Koa, Tontou, creek Vincent et creek Absinthe, ainsi que de leurs affluents. Par ailleurs, la restauration écologique des milieux et habitats dégradés est fortement souhaitée et recherchée à travers le monde. Cette action de réparation des milieux naturels est devenue, dans le contexte actuel de crise de la biodiversité, une des disciplines majeures en science de l'environnement (Dutoit, 2014 ; Dutoit et al., 2014). La dernière conférence internationale sur la biodiversité qui s'est tenue au Japon à Nagoya en 2010, s'est ainsi fixée comme objectifs de restaurer 15% de tous les écosystèmes de la planète d'ici à 2020. La restauration écologique est donc aujourd'hui un outil de conservation important de la biodiversité et des services écosystémiques rendus aux populations humaines.



**Figure 2 : La mine « Camp des Sapins » (Centre minier de Thio, Nouvelle-Calédonie) (source : Google Earth, date ?)**

Depuis 2009, le code minier de la Nouvelle-Calédonie impose les réglementations et fixe la législation de la prospection, la recherche, l'exploitation, la détention, la possession, la circulation et la transformation des minerais de nickel, de chrome et de cobalt (cf. Article Lp 111.1). Le code minier intègre bien évidemment les problématiques environnementales en cours d'exploitation. Il fait en sorte d'obliger l'exploitant minier à adopter les meilleurs techniques disponibles, tout au long du cycle de vie du projet minier, depuis l'exploration jusqu'à la fermeture pour éviter, minimiser et compenser les impacts sur l'environnement et la biodiversité (Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, 2008).

La réhabilitation des sites dégradés est obligatoire et est prévue dans l'autorisation délivrée pour l'ouverture de travaux. Elle donne lieu à la production d'une pièce entière du dossier de demande d'exploitation : schéma de réhabilitation des zones dégradées (cf. Article R 142-10-4). Elle est en plus assujettie à la mise en place d'une garantie financière.

Concernant les anciens sites miniers, l'administration les a classés en deux catégories :

- les sites orphelins (sites sans concession minière et donc sans propriétaire) ;
- les sites miniers détenus (concessions minières existantes) mais dont l'exploitation s'est arrêtée avant 1975.

Pour ces deux catégories d'anciens sites miniers, leur prise en compte en termes de réhabilitation a commencé en 1989 via une délibération fiscale : la délibération n°104 du 20 avril 1989. Cette dernière permettait aux entreprises assujetties à la fiscalité minière et/ou aux entreprises dont l'activité relève de la métallurgie des minerais, à verser une partie de l'impôt sur les bénéfices sur des fonds communaux en vue de la réhabilitation de sites miniers. Le montant versé annuellement ne pouvait excéder 15% du total de l'impôt avec un maximum de 250 millions CFP.

Ce financement versé sur des budgets annexes aux communes concernées par l'activité minière et ayant mis en place leur Comité de Réhabilitation des anciens Sites Miniers (CRSM), a permis la réhabilitation de nombreux anciens sites miniers. Le choix des sites et la maîtrise d'ouvrage de la réhabilitation minière se faisaient par les communes directement.

En 2009, un nouvel établissement public, le Fonds Nickel, voit le jour pour gérer la réhabilitation minière à l'échelle du Territoire mais également le fond de soutien conjoncturel du secteur minier. Cet organisme va donc prendre le relai des fonds communaux dédiés à la réhabilitation minière. Les ressources allouées à ce fonds proviennent de dotations d'organismes publics, des recettes fiscales qui lui sont affectées, du produit de la redevance superficielle (acquittée par les titulaires de concessions minières), de toutes subventions (dons, legs) et d'emprunts.

Dans le cadre de la réhabilitation d'une surface minière dégradée avant 1975 et située sur un titre minier détenu, le Fonds Nickel financera la remise en état de la surface à hauteur de 80%, le titulaire du titre minier participera à hauteur de 20% du budget de l'opération (source : *Schéma de mise en valeur des richesses minières de la Nouvelle-Calédonie*).

La réhabilitation minière en Nouvelle-Calédonie est donc soit réalisée par les exploitants miniers eux-mêmes soit par le Fonds Nickel qui a pris le relais des communes.

Aussi bien pour les anciens sites miniers que pour les mines actuelles arrivant en fin de vie, la remise en état implique plusieurs types de travaux :

- des travaux de nettoyage, le cas échéant, afin de démanteler les installations présentes (bâtiments, éléments de tri, etc.) et l'enlèvement de tous les déchets (anciens engins, fûts, etc.) ;

- des travaux de sécurisation si nécessaire afin d'assurer une stabilisation des éléments miniers (reprises de versos / décharges, talus de pistes, etc.). Ces travaux sont majoritairement des travaux de terrassement ;
- des travaux de remodelage des terrains pouvant être nécessaires dans la stabilisation d'éléments miniers mais surtout pour améliorer la lutte contre l'érosion en augmentant les surfaces pouvant être revégétalisées. Ces travaux, améliorant l'aspect visuel du site, sont des travaux de terrassement ;
- des travaux de lutte contre l'érosion afin de diminuer la pollution sédimentaire dans le réseau hydrologique concerné. Deux types de travaux sont nécessaires :
  - des travaux de gestion des eaux de ruissellement ;
  - des travaux de génie biologique et de revégétalisation.
- des travaux de revégétalisation qui en plus de lutter contre l'érosion vont également réintégrer le site minier dans son environnement. Pour cela la réintroduction d'un panel d'espèces pionnières adaptées au milieu est essentielle afin d'initier un retour à une végétation originelle.

En conséquence, de manière très concrète et appliquée, les exploitants doivent réglementairement réaliser des actions afin de limiter un ensemble de dommages (Code minier de la Nouvelle-Calédonie<sup>1</sup>), à savoir :

- limiter l'érosion des zones dégradées et des berges des rivières ;
- réhabiliter les ravines, les arrachements et les anciennes décharges minières (imposé si les dégradations datent d'après 1975. Sinon c'est une mesure considérée de compensation qui n'est pas forcément proposée par l'exploitant et donc non repris dans l'arrêté d'exploitation) ;
- limiter l'engravement des rivières et restaurer leur lit mineur, afin d'assurer le transit d'un débit correspondant à une crue de récurrence biennale.

Les opérateurs cherchent ainsi un moyen de réduire significativement ces productions de sédiments en provenance des bassins miniers, tout en restaurant les terrains traités. Pour cela, il peut être fait appel à des opérations d'ingénierie écologique, et plus particulièrement de génie végétal.

L'ingénierie écologique est définie comme la conception de projets « par et pour le vivant » (Rey et al. (coord.), 2014 ; Dutoit, 2015). Elle intègre donc des actions de restauration écologique et de préservation de la biodiversité quand celles-ci font également appel au vivant et non aux techniques de génie civil comme moyen d'intervention (Rey et al. (coord.), 2015). La réalisation des travaux préconisés se retrouve alors sous le vocable de « génie écologique ». Les objectifs sont alors d'utiliser le vivant dans toutes ses composantes et niveaux d'organisation (du gène au paysage) à des fins non seulement de restauration écologique de la biodiversité des écosystèmes, mais aussi d'optimisation des fonctions rendues par ces écosystèmes, notamment celles profitables aux activités anthropiques (encore appelées « *services écosystémiques* »). Cela nécessite une bonne connaissance de l'écologie fonctionnelle et évolutive des écosystèmes ciblés (Dutoit, 2013a,b), de l'histoire de la dégradation anthropique et, enfin, le choix d'une trajectoire de référence pour guider la planification, la réalisation, le suivi et l'évaluation du projet de restauration dans des contextes socio-économiques et climatiques très changeants (Dutoit, 2012).

---

<sup>1</sup> Code minier de la Nouvelle-Calédonie (Partie réglementaire)

Source : [www.juridoc.gouv.nc](http://www.juridoc.gouv.nc) - droits réservés de reproduction et réutilisation des données

Plus particulièrement, le génie végétal (ou génie biologique) est un domaine d'action utilisant le végétal pour remédier à différentes problématiques d'ordres écologiques ou anthropiques (Crosaz *et al.*, 2014). Il permet de traiter des problèmes liés à l'érosion et l'instabilité des sols, à leur pollution ou plus largement à leur dégradation. Le génie végétal relève du génie écologique au sens large, car l'utilisation du végétal est un moyen efficace et respectueux de l'environnement permettant d'atteindre les objectifs fixés. On parle ainsi volontiers aujourd'hui de « *Nature-based solution* », traduit littéralement par « solution basée sur la connaissance et l'utilisation de la nature ».

Le recours à l'ingénierie écologique et au génie végétal présente un double intérêt, car il permet :

- l'installation d'une couverture végétale, dont l'emprise doit augmenter au cours du temps, pour un contrôle de l'érosion et/ou de la sédimentation qui soit efficace à moindre coût et durable sur le long terme ;
- la restauration écologique des terrains dégradés, pour une réparation durable des dommages créés par l'homme aux bassins versants, avec l'objectif de recouvrir une structure et un fonctionnement autonome des milieux tout en augmentant si possible la richesse et la diversité en espèces natives des milieux restaurés, qu'ils soient similaires ou non à ceux existant avant la dégradation.

Enfin, la restauration des sites miniers ne peut se dérouler sans implication des acteurs locaux (communes, associations, Aires coutumières, etc.) et des populations locales. Ces populations vivant en pied des massifs miniers sont directement concernées par les impacts des activités minières. Le respect des pratiques traditionnelles et culturelles mélanésiennes doit faire partie intégrante de la restauration des sites. L'association des personnes concernées par la zone à restaurer permet d'avoir une certaine « légitimité » pour effectuer les démarches nécessaires (visites de sites, réalisation des travaux) mais également d'intégrer les attentes ou les recommandations des populations directement concernées.

L'adhésion sociale à la restauration des sites miniers est très souvent la clé de la réussite de celle-ci.

Les travaux de restauration peuvent être un levier de développement économique :

- en encourageant la constitution de nouvelles entreprises locales et/ou en soutenant le tissu économique déjà existant. Les travaux peuvent se révéler être de nouvelles opportunités, notamment pour les jeunes générations ;
- ou indirectement par la contribution, grâce à l'emploi, aux possibilités commerciales, à des partenariats, à des entreprises conjointes et à une participation communautaire générale.

## 1.2. OBJECTIFS DU PROJET

Dans une double optique d'une part de contrôle de l'érosion et de la sédimentation et d'autre part de restauration écologique des terrains dégradés en contexte minier, l'objectif était de mettre en évidence, par la démonstration et le cas échéant l'expérimentation, l'efficacité de techniques innovantes d'ingénierie écologique, qui soient adaptées au contexte local. Il s'agissait en particulier d'élargir et promouvoir des techniques utilisables et adaptées au contexte de la Nouvelle-Calédonie, pour améliorer les résultats de la restauration des sites miniers après exploitation et des surfaces des bassins versant miniers dégradées par les conséquences de l'activité minière actuelle ou passée, jusqu'aux creeks situés en aval. Il s'agissait entre autres d'analyser les résultats obtenus sur plusieurs sites ayant fait l'objet d'opérations de revégétalisation ou de restauration.

Les objectifs spécifiques du projet étaient les suivants :

- réaliser un large benchmark international des techniques et ouvrages qui pourraient être adaptés au contexte local ;
- réaliser des retours d'expériences sur des ouvrages utilisés en Nouvelle-Calédonie ;
- disposer d'un descriptif documenté et synthétisé des techniques d'ingénierie écologique potentiellement adaptables au contexte local ;
- élaborer un projet détaillé opérationnel pour la réalisation de chantiers de démonstration mettant en œuvre en conditions réelles les techniques sélectionnées ;
- produire un référentiel des techniques à destination des professionnels du génie écologique, des acteurs de l'aménagement du territoire et des exploitants miniers.

## 1.3. LIVRABLES

Les livrables attendus au projet sont les suivants :

- un rapport de présentation :
  - des techniques et ouvrages qui pourraient être adaptés au contexte local
  - des retours d'expériences connus en Nouvelle-Calédonie
  - d'une sélection des techniques à démontrer, et pour certaines tester, dans le contexte de la Nouvelle-Calédonie
- un cahier des charges pour la réalisation et le suivi d'ouvrages (existants et complétés) sur le réseau de sites de démonstration constitué ;
- un référentiel des techniques à promouvoir ;
- des supports de valorisation des résultats du projet à destination des aménageurs, populations et médias locaux.

## **2. MÉTHODOLOGIE**

### **2.1. TÂCHE 1. RÉALISATION D'UN BENCHMARK INTERNATIONAL ET LOCAL DES TECHNIQUES ET OUVRAGES QUI POURRAIENT ÊTRE ADAPTÉS AU CONTEXTE LOCAL**

Le travail s'est décliné en plusieurs étapes.

Tout d'abord, nous avons inventorié les principaux guides et référentiels existants en génie végétal, quels que soient leurs domaines d'application.

Ensuite, nous avons cherché à identifier les techniques et les ouvrages potentiellement utilisables pour la restauration minière en contexte ravinaire. Pour cela, nous avons sélectionné, à dire d'expert, les techniques et les ouvrages classiquement utilisés dans ce contexte à travers le monde. Leurs principales caractéristiques sont consultables dans le guide de Zeh (2007), dont nous avons repris les identifiants. Ils sont classés par famille (non vivant, ensemencement, plantation, bouturage, transplantation, mixte, facilitation). Une prédétermination de leur utilisation potentielle sur une ravine (lit ou versant) a été réalisée.

Ce travail a ensuite été complété par une revue scientifique succincte sur l'utilisation de techniques et d'ouvrages en contexte ravinaire.

Puis nous avons inventorié et cartographié les techniques et ouvrages effectivement réalisés à ce jour dans ce contexte en Nouvelle Calédonie, sur la base d'un recensement des chantiers anciens. Grâce à des visites de ces ouvrages, un retour d'expérience sur leur efficacité (Annexe 1) a été réalisé suite à plusieurs missions sur place (Yves Crosaz en 2021 et 2022, SIRAS en 2021 et Freddy Rey en 2019). Nous avons pu en tirer des conclusions sur leur réussite ou leur échec en termes de végétalisation, de contrôle de l'érosion et de la sédimentation, et enfin de durabilité de l'ouvrage et de l'action de végétalisation.

### **2.2. TÂCHE 2. SÉLECTION DES TECHNIQUES À DÉMONTRER ET TESTER**

L'ensemble du travail de la tâche 1 a permis de connaître les techniques et ouvrages déjà utilisés en Nouvelle Calédonie, tout en identifiant ceux qui pourraient potentiellement l'être car utilisés ailleurs. Dans la tâche 2, nous avons réalisé une sélection finale des ouvrages qui seront mis en avant sur les sites de démonstration, en tenant compte des spécificités d'application au contexte minier et ravinaire en Nouvelle-Calédonie. Certains ouvrages seront dédiés à une phase pré-expérimentale, nécessaire avant de définir leur caractère de démonstration.

## 2.3. TÂCHE 3. SÉLECTION DES SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX

Concernant l'aspect « démonstration » du projet, nous avons proposé de créer un véritable « réseau de sites de démonstration », qui comprenne des sites conçus et construits dans le cadre de ce projet, mais qui inclue également des sites correspondants à d'anciens chantiers, pour lesquels il existe une vraie plus-value à les faire visiter. Ces derniers sites ont été choisis parmi ceux faisant partie du cortège de chantiers soumis à des retours d'expériences (tâche 2).

En premier lieu, nous avons lancé auprès des opérateurs miniers, du Fonds Nickel ou encore du Parc de la Rivière bleue, dès le début du projet, un appel à « ravines candidates », dépourvues d'ouvrages. Une fiche type à renseigner a été formalisée, afin de disposer d'une description du ou des sites potentiels (Figure 3).

Proposition de Ravine - projet INNERMINE					
Entité Proposante :	à renseigner			Date :	à renseigner
Nom du rédacteur :	à renseigner			à renvoyer à <a href="mailto:freddy.rey@inrae.fr">freddy.rey@inrae.fr</a> avec Cc : <a href="mailto:France.bailly@cnrt.nc">France.bailly@cnrt.nc</a>	
Id Ravine	Ravine 1	Ravine 2	Ravine 3	Ravine 4	Ravine 5
Situation					
Lithologie / Formation superficielle					
Sols					
Dimensions (largeur, dénivellée ou surface)					
Altitude (m a.s.l.)					
Exposition					
Topographie					
Climat					
Précipitations annuelles (mm/an)					
Mois les plus pluvieux					
Densité moyenne de ravines (km/km²)					
Accessibilité					
Usage actuel des sols					
Usage passé des sols					
Autre commentaire utile					

**Figure 3 : Fiche type à renseigner pour les ravines candidates**

Nous disposions déjà (tâches précédentes) d'une liste de ravines candidates déjà équipées d'ouvrages.

Une visite de l'ensemble de ces sites a été réalisée (missions d'Yves Crosaz de 2021) afin de retenir les ravines les plus pertinentes pour constituer le réseau de sites de démonstration. La méthodologie a ainsi été la suivante :

### 1- Proposition de sites par les divers maîtres d'ouvrages

De nombreux sites ont été proposés par les divers maîtres d'ouvrages, généralement pour lesquels nous disposions d'un descriptif général et parfois de quelques photos. On ne connaissait pas les raisons pour lesquelles ces sites ont été proposés, ni quels étaient les objectifs recherchés pour les ouvrages quand ils existaient (contrôle de l'érosion, action sur la sédimentation, restauration ou réhabilitation écologique, autre...). Une présélection des sites a été effectuée sans tenir compte de ces paramètres. Une carte a été établie.

### 2- Présélection selon les premiers critères

L'objectif était de présélectionner les sites à visiter et d'écartier ceux qui présentaient définitivement des caractéristiques incompatibles avec la mise en œuvre de travaux de génie végétal à titre démonstratif ou expérimental (au sens adaptatif à la Nouvelle-Calédonie). Parmi les critères de sélection, la facilité d'accès a été retenue comme primordiale, dans un premier temps pour limiter les coûts d'intervention des travaux complémentaires à mener (certains sites proposés ne sont accessibles que par hélicoptère), ensuite parce que le réseau de sites de démonstration a vocation à être visité et qu'ainsi des durées de trajets plus courtes augmenteront la fréquentation des sites.

### 3- Affinage de la pré-sélection grâce à des entretiens

Des entretiens ont eu lieu en début de mission avec toutes les personnes concernées et en capacité d'aider à affiner davantage la présélection des sites (ravines) à visiter.

### 4- Visite des sites et proposition affinée

La visite de tous les sites a fait ressortir une liste de ravines, avec et sans ouvrages, retenues pour faire partie du réseau de sites de démonstration. Les opérateurs miniers et gestionnaires de ces sites ont alors tous été contactés afin de recueillir leur souhait ou non de faire participer « leurs » ravines au réseau de sites de démonstration, et leur capacité à mobiliser de leur côté des moyens financiers nécessaires pour contribuer à la réalisation du réseau.

## **2.4. TÂCHE 4. CONCEPTION ET RÉALISATION DES SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX**

L'ambition de constituer un réseau de sites de démonstration du savoir-faire calédonien relatif aux techniques du génie végétal a pu être menée à bien. Pour les ouvrages déjà existants, il a été identifié des pistes importantes d'innovation permettant d'améliorer grandement leur efficacité par rapport au contrôle des processus d'érosion et de sédimentation.

Par ailleurs, les techniques du génie végétal reposent sur l'usage du matériel végétal vivant en tant qu'élément constitutif des ouvrages ou éléments complémentaires à des ouvrages inertes. Pour la majorité de ces techniques utilisées en contexte ravinaire, le matériel végétal est employé sous une forme de boutures : piquets de fixation ou branches à rejets (tige ou fagot). Or, ce type de matériel végétal n'est pas disponible à ce jour en Nouvelle-Calédonie.

Afin tout de même de capitaliser sur les résultats du projet et d'atteindre l'objectif de "démonstration" qui constitue le cœur du projet, nous avons choisi de réaliser :

i/ un volet de complémentation d'ouvrages existants, pour lesquels une amélioration notable de leur composante végétale peut être réalisée, afin d'en faire des ouvrages les plus efficaces possibles dans un contexte ravinaire. Cela a permis *in fine* de mettre en place le réseau de sites de démonstration affiché au début du projet ;

ii/ un volet pré-expérimental de test de bouturage, sur certains ouvrages existants.

Pour ces deux volets, des cahiers des charges spécifiques ont été fournis.

Un protocole pour le suivi et l'évaluation de l'efficacité des ouvrages, qui seront réalisés dans le futur sur les sites de démonstration, a également été fourni. Ce suivi et cette évaluation pourront être planifiés sur un temps plus long que celui du projet, en fonction du planning de réalisation effectif des sites de démonstration.

## **2.5. TÂCHE 5. RÉDACTION D'UN RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE POUR LES TECHNIQUES À PROMOUVOIR**

Il s'est agi de s'appuyer sur les guides et les référentiels existants pour les techniques et les ouvrages à présenter (cf. tâche 1), en les adaptant et en les complétant pour leur adéquation au contexte de la restauration minière en contexte ravinaire en Nouvelle-Calédonie.

Le référentiel technique se présente sous la forme de fiches synthétiques de présentation des techniques et ouvrages préconisés en contexte ravinaire. Elles sont illustrées par des visuels originaux issus des sites visités.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. TECHNIQUES ET OUVRAGES QUI POURRAIENT ÊTRE ADAPTÉS AU CONTEXTE LOCAL

#### 3.1.1. GUIDES ET RÉFÉRENTIELS EXISTANTS EN GÉNIE VÉGÉTAL

##### 3.1.1.1. Ingénierie écologique et génie végétal

Plusieurs ouvrages publiés ces dernières années ont permis de mieux définir les principes de l'ingénierie écologique. Chocat (coord., 2013), Rey et al. (2015) ou encore Jégat (2015) expliquent ainsi que l'ingénierie écologique permet d'utiliser le vivant, dans toutes ses composantes et niveaux d'organisation notamment à des fins de restauration écologique de la biodiversité et des fonctions rendues par les écosystèmes ou pour la création de nouveaux écosystèmes à bénéfice réciproque pour l'homme et la biosphère (toits verts par exemple). Dans le cadre de la restauration des sites après exploitation et de la gestion des impacts de l'exploitation minière passée (en particulier les versants et ravines en aval des mines), des actions de génie végétal peuvent ainsi être engagées pour stabiliser les substrats, limiter l'érosion des surfaces, l'entraînement des fines et la sédimentation vers l'aval des bassins versants miniers mais aussi, relancer la dynamique de colonisation végétale et de recréation d'habitats fonctionnels et diversifiés. Le recours au génie écologique pour le traitement des surfaces dégradées vise donc :

- un contrôle de l'érosion et/ou de la sédimentation efficace et durable par l'utilisation des techniques biologiques de stabilisation/confortement/protection de surface et l'installation d'une couverture végétale adaptée et pérenne ;
- la restauration écologique des milieux avec l'objectif d'initier et favoriser une dynamique de reconquête et de « cicatrisation » du milieu et de reconstitution progressive d'habitats fonctionnels et diversifiés, intégrés à leur environnement écologique.

Concernant la conception des ouvrages, on peut citer la parution des « Règles professionnelles du génie écologique », sous le pilotage de l'UNEP et de l'A-IGEco. Certains guides ciblent plus particulièrement le génie végétal, par exemple ceux de Lachat (1994), Zeh (2007), Adam et al. (2008) et Rey (2011), ou encore plus récemment celui co-rédigé par le groupe l'UNEP et l'AGéBio (Crosaz *et al.*, 2014) sous la forme de « Règles professionnelles du génie végétal ». En complément, de nombreux retours d'expériences sont consultables sur le site du centre de ressources du génie écologique ([www.genieecologique.fr](http://www.genieecologique.fr)) ou dans des ouvrages (ex : Chocat, coord., 2013). Ils montrent que les projets d'ingénierie écologique sont la plupart du temps pluridisciplinaires, car nécessitant une vision élargie des projets, empreinte d'écologie et de biologie, mais aussi de géomorphologie, d'hydraulique ou de géotechnique, à diverses échelles d'espace et de temps.

##### 3.1.1.2. Restauration écologique de sites dégradés

Plusieurs ouvrages également publiés ces dernières années ont permis de faire un état des lieux du succès des opérations de restauration écologique menées à travers le monde (Comin,

2010 ; Van Andel & Aronson, 2010 ; Clewell et Aronson, 2013) ou encore Clewell et Aronson (2010) pour la traduction en français. Il en ressort que, si les interventions de restauration écologique permettent des gains indéniables de biodiversité et de fonctionnalité par rapport à la situation dégradée, elles ne permettent cependant pas de restaurer l'intégralité des composantes et fonctions des écosystèmes qui préexistaient à la dégradation. Un changement de paradigme a donc eu lieu en matière de restauration des écosystèmes visant non pas systématiquement la restauration d'un écosystème historique préexistant mais la création de « nouveaux écosystèmes », soit par évolution libre et spontanée (restauration passive) ou soit par des interventions de restauration active.

En matière de retours d'expériences, de nombreux exemples sont également consultables sur le site du centre de ressources du génie écologique ([www.genieecologique.fr](http://www.genieecologique.fr)), de l'association REVER ([www.reseau-rever.org](http://www.reseau-rever.org)) ou d'ouvrages en français pour les cours d'eaux (Adam et al., 2007), les carrières (Dasnias, 2002) ou encore les forêts tropicales (Elliot et al., 2013).

En ce qui concerne la Nouvelle-Calédonie, le bilan réalisé dans le cadre du projet CNRT RECO-SYNTH (Amir et al. 2018) a permis d'évaluer la réussite de la restauration écologique d'une trentaine de sites regroupant 67 modalités différentes (utilisation ou non de topsoil, apport ou non de certains amendements organiques, fertilisation minérale, etc.) dont les plus anciens ont été végétalisés il y a plus de 30 ans. Les analyses menées ont permis de retirer des grandes tendances et de proposer la mise en place d'un indicateur de réussite basé essentiellement sur la productivité du système et sa diversité spécifique. L'ensemble a conduit à la rédaction d'un guide technique qui reprend en partie le guide d'utilisation des topsoils issu du projet CNRT ECOMINE BIOTOP (Amir et al., 2015 ; Bordez et al. 2018 ; Fogliani et al. 2018). Cependant, ce travail ayant intégré de nombreuses méthodes, conditions climatiques, ou encore pédologiques n'aborde que de manière superficielle l'ingénierie écologique.

### **3.1.2. TECHNIQUES ET OUVRAGES UTILISABLES EN CONTEXTE RAVINAIRE (SAVOIR-FAIRE GLOBAL)**

#### **3.1.2.1. Processus érosifs et sédimentaires en contexte ravinaire<sup>2</sup>**

Sur les sites miniers, les matériaux constituant les verses sont argileux, avec absence de niveaux durs.

L'érosion se produit essentiellement sous deux formes : par le haut (Figure 4), et par le bas (ou régressive) (Figure 5), avec une production de sédiments fins. Il s'agit donc d'un fonctionnement érosif et sédimentaire de type torrentiel, avec présence de ravines.



**Figure 4 : Erosion par le haut (photo : F. Rey)**



**Figure 5 : Erosion par le bas (photo : F. Rey)**

L'érosion par le bas est le principal vecteur des phénomènes érosifs. L'écoulement d'eau a tendance à creuser le fond de son lit et à saper les versants de part et d'autre, ce qui entraîne d'importantes descentes de matériaux érodés, qui sont déchaussés par le bas.

L'érosion par le haut est due à la concentration des eaux de pluie, qui creuse le matériau en place et entraîne les matériaux érodés vers l'aval, en fonction de l'énergie (et donc de la vitesse) de l'écoulement.

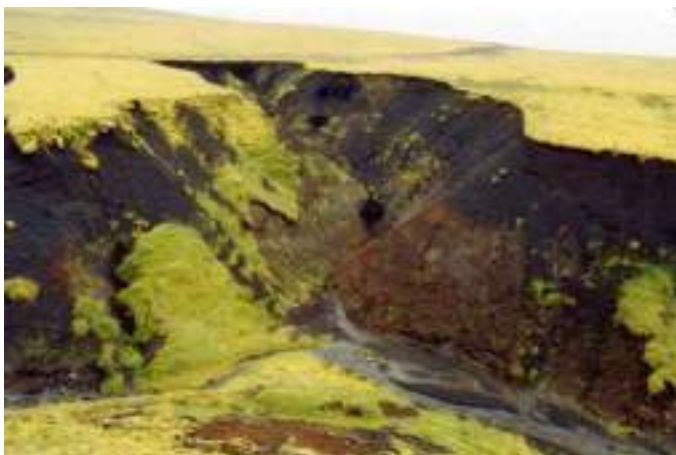
---

<sup>2</sup> Voir l'état des lieux des formes d'érosion établi par Véronique Forlacroix

### 3.1.2.2. Quelles stratégies d'intervention par génie végétal en contexte ravinaire ?

#### 3.1.2.2.1. Protection contre l'érosion par le haut ou l'érosion par le bas ?

Selon les principes de correction torrentielle en contexte ravinaire, il faut impérativement lutter au préalable contre l'érosion par le bas. À défaut, les versants restent instables et les ouvrages de lutte contre l'érosion par le haut, qu'ils soient de génie civil ou végétal, risquent d'être déstabilisés par le bas (Figure 6).



**Figure 6 : Illustration d'un phénomène d'érosion régressive (photo : F. Rey)**

Pour maîtriser l'érosion régressive, il faut assurer la stabilité des bas de versant, qui peut être obtenue grâce à la formalisation d'une pente en marches d'escalier (Figure 7) ou d'une pente douce généralisée (Figure 8) au niveau du fond de la ravine. Il s'agit de casser l'énergie du cours d'eau lors des crues, par une horizontalisation du lit, qui peut être discontinue (marches d'escalier) ou continue (pente douce).



**Figure 7 : Illustration d'un fond de lit en marches d'escalier (Source : F. Rey)**



**Figure 8 : Fond de ravine avec une forme en U, due à une présence de matériaux déposés, recouverts de végétation (sources : F. Rey)**

Quel que soit le profil du fond de la ravine, la présence de végétation permet d'accroître la rugosité du fond du lit et participe à réduire l'énergie du cours d'eau lors des crues. En outre, des bas de versants végétalisés permettent de limiter encore les phénomènes de divagation de l'écoulement, ce qui amène à un contrôle optimisé des phénomènes d'érosion régressive.

Enfin, une végétalisation des versants de la ravine permet de lutter contre l'érosion par le haut, par différents effets mécaniques, hydrologiques et thermiques joués par les plantes.

#### **3.1.2.2. Résistance vs effet de la végétation**

La réussite de l'installation d'une couverture végétale tient à deux principes, qui doivent être pris en considération l'un après l'autre.

Le premier concerne la résistance du matériel végétal et des ouvrages aux contraintes, qu'elles soient hydrologiques, climatiques, topographiques ou encore pédologiques. C'est ce premier principe qui doit guider le choix des espèces, du matériel végétal et des ouvrages, ainsi que leur dimensionnement.

Concernant le matériel végétal tout particulièrement, trois grands types existent : les graines (semences), les plants et les boutures. Les principes suivants doivent être considérés.

i/ Les graines sont adaptées pour végétaliser les grandes surfaces, car elles sont mises en place à la volée ou par semis hydraulique, techniques permettant l'installation d'un matériel végétal à moindre coût sur des surfaces importantes. Elles sont cependant à éviter là où les contraintes gravitaires (pente), hydrologiques ou hydrauliques sont trop importantes, les graines étant facilement emportées dans ces cas (même en présence de fixateurs ou de systèmes d'accrochage tels que les géofilets).

ii/ Les plants sont des individus végétaux possédant déjà du feuillage et un système racinaire (contrairement aux boutures et aux graines). Ils sont adaptés pour la végétalisation de surfaces peu à relativement peu importantes, et là où le substrat le permet (profondeur suffisante de matériaux fins notamment). Ils sont idéalement utilisés sur les versants des ravines, même en cas de fortes pentes, tant que le ruissellement reste diffus ou faiblement concentré (rigoles). Ils sont en revanche peu adaptés en conditions de ruissellement concentré, dans des lits de ravines dépassant les 3 hectares d'impluvium (Rey, 2018).

iii/ Les boutures sont des parties ligneuses de végétaux sans feuillage ni racines. Elles sont généralement prélevées sur des pieds-mères en milieu naturel, du moins au départ, car le développement de l'usage des boutures nécessite ensuite rapidement la mise en place de filières de production. L'avantage du recours au bouturage est que la bouture peut être enfoncée dans le sol ou dans un atterrissement de matériaux meubles, lui permettant alors de résister aux crues, même immédiatement après son installation. En revanche, l'inconvénient des boutures est qu'il leur faut un certain temps d'adaptation au terrain afin de développer leurs propres racines et leurs propres feuillages, en puisant dans leurs réserves avant de pouvoir puiser leurs nutriments dans le sol et dans l'air. Elles nécessitent également une relative humidité dans le sol à certains moments de l'année, tout en étant en mesure de traverser des périodes sèches. Elles ne peuvent être mises en place que si le substrat permet leur enfoncement aux  $\frac{3}{4}$  de leur longueur. Les versants de ravines sont souvent peu adaptés aux boutures, surtout si le substrat sous-jacent est dur. Par contre, les boutures sont idéalement utilisées en fond de lit de ravine, jusqu'à des impluviums drainés de 3 ha (en métropole, sous climat méditerranéen). Enfoncées aux  $\frac{3}{4}$  de leur longueur, elles sont en effet en mesure de résister efficacement aux contraintes hydrologiques liées au ruissellement concentré dans de telles conditions.

Une fois s'être assuré que ces matériaux résisteront bien aux contraintes, on doit s'interroger sur le second principe, qui concerne l'effet des ouvrages et de la végétation vis-à-vis des actions que l'on souhaite mener (protection, restauration...) ou des processus que l'on souhaite maîtriser (érosion, sédimentation...) dans le cadre du projet traité.

### **3.1.2.2.3. Rôle de protection active ou passive de la végétation contre l'érosion ?**

Il est généralement admis que la végétation peut constituer un moyen de contrôle efficace de l'érosion hydrique de surface et de la sédimentation. La végétation peut intervenir de deux manières principales :

- d'une part, elle peut empêcher l'érosion de se produire, par régulation du régime hydrologique des bassins versants, augmentation de l'interception et de l'infiltration de l'eau dans le sol, protections mécanique et thermique des sols, et fixation des sols grâce aux systèmes racinaires. Elle joue alors un rôle de protection active contre l'érosion ;
- d'autre part, elle peut retenir les sédiments érodés à l'amont, par filtration des écoulements et piégeage des matériaux érodés. Elle joue dans ce cas un rôle de protection passive contre l'érosion, ou plus précisément un rôle de contrôle de la sédimentation. La conséquence est qu'à l'intérieur des bassins versants, de grandes quantités de matériaux érodés peuvent être piégés par la végétation et ne pas atteindre l'exutoire des bassins versants.

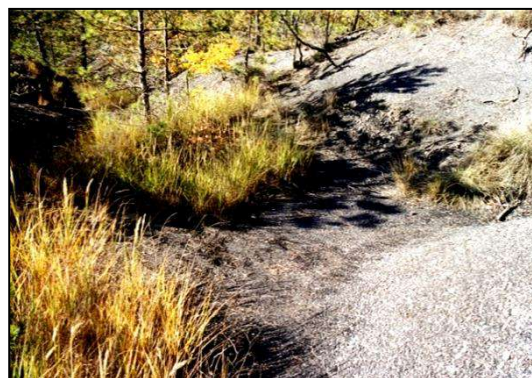
Selon le mode d'action de la végétation retenu, l'intervention par génie végétal consiste :

- pour la protection active contre l'érosion : à installer une couverture végétale directement sur les terrains érodés, en recherchant une couverture végétale protectrice du sol ;
- pour la protection passive contre l'érosion : à installer une couverture végétale dans les lits des ravines à l'aval des terrains érodés.

Les avantages et inconvénients de ces moyens de protection sont résumés sur la Figure 9.

Protection active

Protection passive



### Avantages

Réduction des sédiments proche de 90 % (sur une durée de 50 ans)	Economique + Efficacité immédiate
--	-----------------------------------

### Inconvénients

Onéreux + Efficacité non immédiate	Réduction des sédiments de 50 % (sur une durée de 15 ans)
------------------------------------	---

**Figure 9 : Avantages et inconvénients des différentes stratégies d'interventions par génie végétal**

Une intervention par protection active sur les versants présente l'avantage de viser une réduction significative de l'érosion, et donc des sédiments produits à l'aval des ravines végétalisées, de l'ordre de 90%. Mais cette efficacité ne peut être atteinte qu'à très longue échéance (quelque 50 ans). Cette intervention reste également particulièrement coûteuse car elle impose de recouvrir par des plants l'ensemble des surfaces érodées, parfois très importantes. Enfin, l'action des plants ne sera pas immédiate car il faut laisser du temps au plant installé pour grandir et jouer son rôle de protection contre l'érosion de manière significative.

Une intervention par protection passive correspond quant à elle à une intervention économique car elle cible les implantations d'ouvrages dans les lits des ravines. Par ailleurs, l'efficacité de piégeage est immédiate. Cependant, l'action ciblée dans le linéaire de lit des ravines dépend directement de la longueur de ce linéaire et restreint forcément le nombre d'ouvrages qu'il est possible d'installer. La réduction de sédiments dans les ravines peut alors être d'environ 50% après 15 ans en moyenne.

#### **3.1.2.2.4. Laisser faire la nature**

Sous climat tropical, la dynamique végétale est très active et il est possible de compter sur elle pour une végétalisation spontanée des terrains dégradés. Pour que ce processus ait lieu en contexte torrentiel, il faut toutefois être en situation d'hydrologie contrôlée, avec des terrains stabilisés grâce à des ouvrages de génie végétal ou de petit génie civil.

### 3.1.2.3. Techniques et ouvrages utilisables en contexte ravinaire

#### 3.1.2.3.1. Typologie des techniques et des ouvrages

Les grands types de techniques et d'ouvrages pris en considération dans le cadre de ce projet correspondent à ceux listés dans les Règles professionnelles du génie végétal (Crosaz *et al.*, 2014), à savoir :

- les techniques d'ensemencement, en considérant les modes d'ensemencement (semis manuel ou hydraulique, apport de topsoil), les mélanges plurispécifiques et les matières amendantes/fertilisantes ;
- les techniques de multiplication végétative comme le bouturage et le marcottage, avec leur déclinaison sous diverses formes d'ouvrages : fascines en bois vivant, clayonnage/tressage et palissades ;
- les techniques de plantation ;
- les techniques mixtes, combinant ensemencement, bouturage et/ou plantation : cordons, lit de plants et plançons, couches de branches à rejets et garnissages...
- les techniques non vivantes qui relèvent de la correction torrentielle

#### 3.1.2.3.2. Liste des techniques et ouvrages

La littérature sur les techniques et les ouvrages de génie végétal est essentiellement aujourd'hui une littérature à l'usage des praticiens (voir par ailleurs dans ce rapport) (Figure 10).



**Figure 10 : Diversité des types d'ouvrages de génie végétal (source : F. Rey)**

D'après la littérature pratique (non scientifique), la liste des techniques et des ouvrages utilisés classiquement en contexte ravinaire à travers le monde apparaît dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Liste des techniques et ouvrages potentiellement utilisables en contexte ravinaire à travers le monde (établie à dire d'expert)**

Id Zeh	Famille	Ouvrage	Utilisation sur la ravine	
			Lit (év. Sur seuil)	Versant
1.1 à 1.3	Non vivant	Remodelage (aplanissement, modelage...)	X	X
1.4		Construction de bermes		
1.6		Rigole ouverte		
1.7		Canal à lit grossier		
1.31		Seuil en bois	X	
2.1 à 2.9	Ensemencement	Semis		X
2.14		Semis sur géofilet		X
2.15		Ajout de topsoil		X
3.1 à 3.5/4.1	Plantation	Plantation		X
5.1 et 5.2	Bouturage	Bouturage	X	X
5.3		Palissade	X	
5.4		Brosses, peignes vivants	X	
5.5		Tressage, clayonnage	X	
5.8		Fascine	X	
5.11		Tapis de branches à rejets, garnissages	X	X
5.12 à 5.14		Lits de plants et plançons	X	X
6	Transplantation	Mottes de gazon...		
7.1, 7.2	Mixte	Caisson en bois végétalisé		X
7.5		Armature en bois végétalisée		X
7.12		Pierres (cordons, enrochements)	X	X
7.22		Gabions végétalisés		
7.25, 7.27		Géotextile végétalisé		X
8.1	Facilitation	Piocher	X	X
8.2		Fertiliser	X	X
8.5		Pose de paillage	X	X
8.24/25		Pose de cloture	X	X
8.30		Ressemer	X	X
8.31		replanter	X	X

### 3.1.2.4. Revue technique sur l'efficacité des techniques et ouvrages

#### 3.1.2.4.1. Proposition d'une stratégie innovante de génie végétal

Aujourd'hui, la stratégie globale et la plus innovante de génie végétal proposée en contexte ravinaire repose sur l'utilisation d'ouvrages spécifiques, dont l'utilisation et l'efficacité ont été prouvés en métropole (Rey et al., 2015 ; Rey, 2018). Ces ouvrages sont à base essentiellement de boutures, qui pour rappel sont des parties ligneuses de végétaux sans feuillage ni racine. L'utilisation de plants est également possible et parfois opportune. Sur la base du savoir-faire existant en ingénierie, deux types d'ouvrages sont proposés (figure 11) :

- les cordons sur seuil en bois (Figure 11a) sont composés d'un seuil en bois mort, d'une hauteur de 50 cm, confectionné avec des rondins de bois prélevés sur place. Les boutures des cordons ont un diamètre de 2 à 3 cm pour une longueur totale de 50 cm, 20 cm dépassant de la surface du sol. Le nombre moyen de boutures par ouvrage est de 20, soit un espacement moyen entre elles d'environ 6 cm

- les cordons avec garnissages sur seuil en bois (Figure 11b) sont constitués de boutures pour les cordons et les garnissages, de 50 cm de longueur et de 2 à 3 cm de diamètre, qui dépassent la surface du sol de 20 cm. Les cordons comportent 20 boutures et les garnissages en comptent quelques dizaines, réparties sur environ 2 m<sup>2</sup> ou plus.

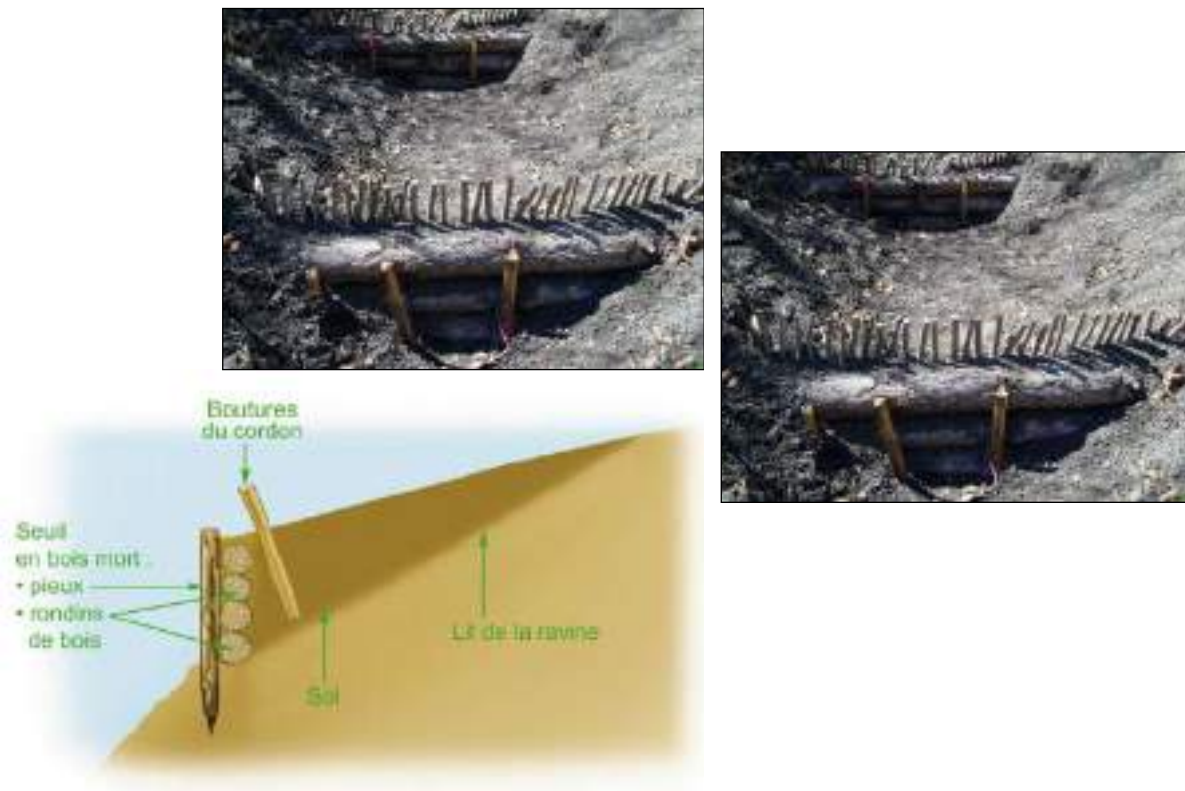
Le cordon et le garnissage permettent de créer un « réservoir » sur le seuil, afin de piéger et de recueillir les sédiments érodés plus à l'amont. Ces ouvrages sont disposés en cascade dans le lit des ravines, afin d'une part de diminuer l'énergie des crues grâce aux seuils, d'autre part de multiplier la capacité totale du dispositif pour le piégeage des sédiments.

En métropole, les espèces conseillées pour les boutures sont, par ordre de préférence et selon les disponibilités en approvisionnement, le Saule pourpre, le Saule drapé et le Peuplier noir. Ce dernier doit toutefois être préféré dans les ravines exposées au sud. Sur d'autres sites géographiques, comme en Nouvelle-Calédonie, il reste à trouver les espèces aptes à reprendre à partir de boutures.

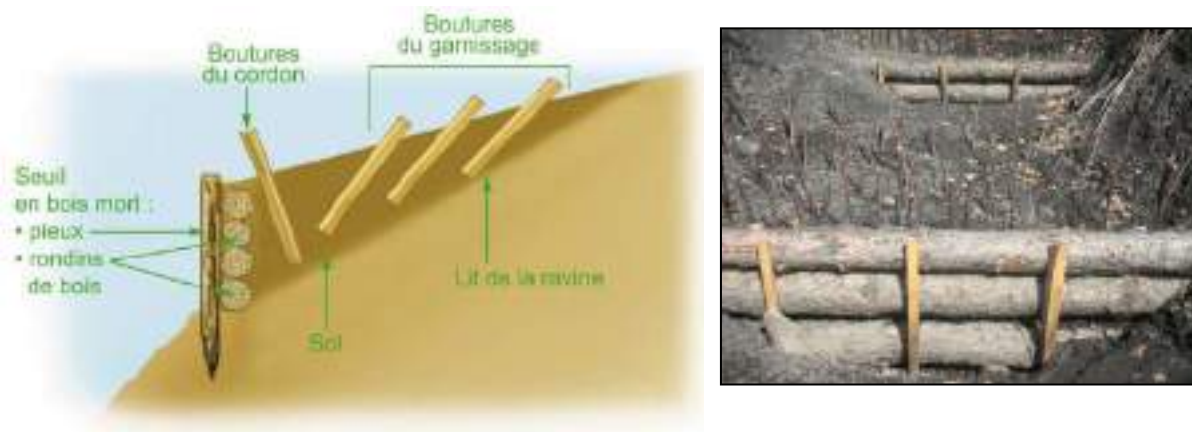
Les cordons sur seuil en bois peuvent être avantageusement installés dans les ravines présentant un couvert végétal sur les versants (plus de 30 % de couverture végétale) : la dynamique végétale naturelle, qui devrait s'opérer dans ce cas sur les atterrissements de sédiments, doit permettre d'économiser l'installation d'un garnissage. Ailleurs, les cordons avec garnissages sur seuil en bois peuvent être préférés. Le cas échéant, des compléments aux ouvrages sont à envisager, afin d'éviter leur contournement. Il s'agit de rajouter un renfort en bois sur les côtés du seuil, au niveau du cordon de boutures, remontant de 50 cm sur les versants de part et d'autre du seuil. De plus, là où les versants le permettent, il est vivement conseillé de réaliser une plantation de 3 arbustes, alignés dans la continuité du renfort et sur 50 cm de haut. Le versant au-dessus du garnissage de boutures pourra également être recouvert d'un garnissage de plants sur une hauteur de 1 m, de part et d'autre du seuil et à raison de 20 plants/m<sup>2</sup>.

Ces ouvrages ne sont installés que dans les lits des ravines de surface inférieure à 3 ha, lorsque la pente du lit est inférieure à 40 %. Dans le cas particulier des ravines dont la superficie est comprise entre 2 et 3 ha, et où des cordons avec garnissages sur seuil en bois sont installés, il convient d'espacer dans le temps (1 à 3 ans) la pose du cordon (en premier) et celle du garnissage, afin d'éviter l'ensevelissement trop rapide des boutures du garnissage les premières années, et de limiter la concurrence pour l'eau entre les 2 types de boutures. La construction des seuils peut être avantageusement réalisée en période sèche et plus globalement lorsque les sols sont secs. La mise en place des boutures et des plants sera plutôt réalisée avant ou après la montée de sève et/ou lorsque les sols sont humides.

a



b



**Figure 11 : Cordon sur seuil en bois (a) et Cordon avec garnissage sur seuil en bois (b)**

*(sources et photos : F. Rey)*

La réussite des ouvrages, tant en matière de reprise de végétaux que de piégeage des sédiments, reste dépendante des conditions climatiques. Certains événements extrêmes (sécheresse ou pluie très intense) peuvent conduire à une diminution de leur efficacité, voire à des échecs plus ou moins ponctuels.

Enfin, ces interventions dans les ravines peuvent être les seules envisagées, c'est-à-dire qu'hormis de possibles entretiens ponctuels nécessaires les années suivantes (réparation

d'ouvrages, bouturage pour combler les échecs locaux), il peut ne pas y avoir de nouvelle intervention, ni d'intervention sur le reste de la ravine.

D'autres ouvrages peuvent venir compléter le dispositif, notamment sur les versants, dans le cas où une protection active contre l'érosion est recherchée. Dans ce cas, les ouvrages complémentaires préconisés peuvent être :

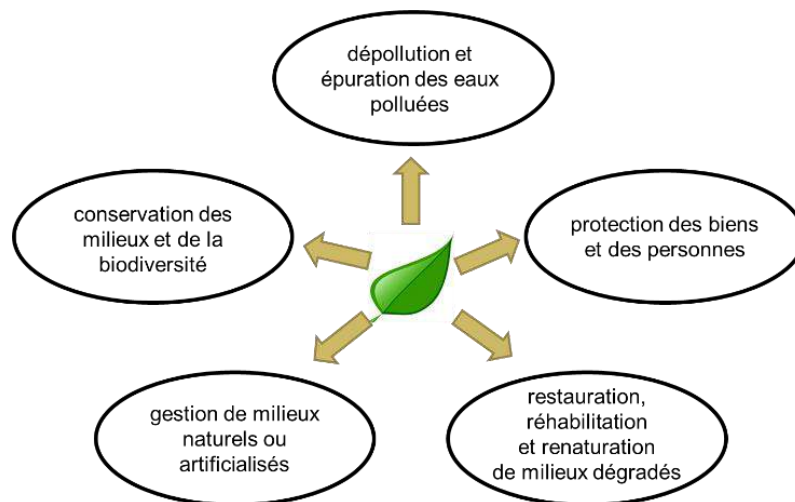
- des banquettes grillagées
- des fascines de branchages
- des treillages en bois.

Ces ouvrages de soutènement sont alors végétalisés, essentiellement avec des plants. Sous climats secs, les boutures sont à éviter car elles disposent de trop peu d'eau dans les atterrissements pour développer leurs systèmes racinaires.

### 3.1.2.5. Littérature scientifique sur l'efficacité des techniques et ouvrages

#### 3.1.2.5.1. Généralités

Si la littérature scientifique sur les interactions entre végétation et érosion, et entre végétation et sédimentation est foisonnante, celle sur l'efficacité directe des techniques et ouvrages de génie végétal pour le contrôle de ces processus est beaucoup plus faible (Schwarz et al., 2020). Cela s'explique certainement par le fait que le rôle premier d'un ouvrage est de permettre l'installation d'une couverture végétale, qui peut, à terme, avoir un rôle soit de contrôle de l'érosion et/ou de la sédimentation, soit de restauration/réhabilitation d'un milieu dégradé, ou encore de dépollution de sites (Figure 12). Il est donc assez logique de ne trouver que très peu de références qui traitent directement de l'efficacité des ouvrages de génie végétal sur le contrôle de l'érosion et de la sédimentation.



**Figure 12 : Domaines d'application des techniques de génie végétal (source : F. Rey)**

Les références existantes concernent surtout les applications sur les berges de rivières. Elles sont bien plus réduites si on réalise un focus sur le contexte ravinaire (annexe 2).

#### 3.1.2.5.2. Pour le contrôle de l'érosion

L'information sur les techniques de génie végétal pour le contrôle de l'érosion est très lacunaire et souvent incomplète, surtout en ce qui concerne les taux de réussite et d'échec (Frankl et al., en prép.).

Pour stabiliser les lits des ravines, il est fait état de l'efficacité de barrages rigides, plus ou moins combinés avec de la végétation. Les barrages en bois mort, par exemple, sont cités comme ayant l'avantage d'être efficaces immédiatement pour protéger contre l'érosion, mais avec une durée de vie courte par rapport à des barrières vivantes. De leur côté, Rao et al. (2018) ont montré l'efficacité de tels barrages composés de rochers, végétalisés avec du bambou. Des mesures complémentaires telles que le remplissage des ravines par des pierres sont également citées. Lira-Caballero et al. (2018) ont étudié l'efficacité des barrières vivantes, correspondant à des couches de broussailles installées dans les ravines, pour le développement de la couverture végétale et le contrôle de l'érosion au Mexique. Ils ont constaté que ces barrières favorisent la colonisation du sol par les espèces indigènes de la forêt tropicale caduque, avec un processus de distribution spatiale spécifique des plantes dans la section transversale des ravines permettant de contrôler l'érosion.

Dans l'ensemble, l'établissement de la végétation dans les lits et les versants des ravines joue un rôle clé dans la prévention et le contrôle des ravines (Frankl et al., en prép.). Les raisons des échecs de ces techniques dépendent des caractéristiques du ruissellement et des sédiments, ainsi que de la stabilité de la section transversale et du micro-environnement de la ravine.

#### **3.1.2.5.3. Pour le contrôle de la sédimentation**

Paradoxalement, les connaissances sur l'effet des ouvrages de génie végétal sur le contrôle de la sédimentation sont plus importantes que celles sur le contrôle de l'érosion.

L'érosion ravinatoire est un facteur important de l'augmentation de la production de sédiments dans les bassins versants, et de nombreuses opérations de réhabilitation de terrains érodés ont eu lieu pour réduire la quantité de sédiments érodés produits par les ravines. Il s'agit aujourd'hui d'un sujet de recherche clé (Castillo et Gómez, 2016), avec des études sur le rôle de la végétation à la fois sur le contrôle de l'érosion et celui de la sédimentation (Gallart et al. 2013). Cependant, comparativement à d'autres formes d'érosion, il y a eu peu d'études sur l'efficacité de la remise en état de ravines pour réduire la fourniture de sédiments. Les références existantes indiquent que le contrôle efficace et durable des sédiments par piégeage dans les bassins versants est possible grâce à une végétation adaptée (Phillips et al., 2013). Bien que les structures végétales soient habituellement établies sur les versants érodés, elles peuvent pour cela être avantageusement installées dans les fonds des ravines, de sorte qu'elles soient capables de piéger les sédiments érodés en amont (Rey et al., 2019).

Une étude très récente (Bartley et al., 2020) a passé en revue la documentation mondiale afin de mieux comprendre les réductions constatées de la production de sédiments qui peuvent se produire après la remise en état des terrains ravinés. Cette étude s'est concentrée sur des références faisant état d'une réponse mesurable sur la façon dont la production de sédiments des bassins versants a changé depuis son traitement. Au total, 37 études répondaient à ce critère. Les études ont été divisées en trois grandes catégories, à savoir celles portant sur : (i) le traitement à l'amont de la ravine ; (ii) l'installation de traitements à l'aval de la ravine ; et (iii) une combinaison d'approches qui comprennent le traitement des deux à la fois. Toutes les études ont démontré une réduction de la production de sédiments à la suite de la remise en état de la ravine, avec des valeurs associées à la réduction du rendement des sédiments variant considérablement (de 2 à 80 ans).

Les recherches menées dans les Alpes du sud françaises, sous un climat méditerranéen montagnard (Rey, 2018 ; Rey et Labonne, 2015), ont montré que: (i) dans une ravine d'une superficie inférieure à 1 ha, une couverture végétale partielle de 20 % peut suffire à stopper la production sédimentaire à sa sortie, si cette végétation est située en aval de la ravine; (ii) des

ouvrages de génie végétal à base de boutures de saules, sous forme de cordons et de garnissages sur des seuils en bois mort, peuvent être utilisés pour installer de telles barrières végétales dans les ravines érodées ; (iii) le piégeage répété et durable des sédiments est efficace avec ces barrières, lorsque la pente des fonds de ravine est inférieure à 40 % ; (iv) la colonisation de la végétation naturelle est possible sur les fonds dénudés de la ravine lorsque les sédiments sont stabilisés par des travaux de génie végétal et lorsqu'une végétation est présente sur les versants (Burylo et al., 2014).

Ainsi, les règles suivantes pour l'utilisation de génie végétal dans les ravines peuvent être proposées (Rey, 2009) : (i) les actions de réhabilitation doivent être menées uniquement dans les ravines dont la superficie est inférieure à 1 ha, pour atteindre un taux de couverture végétale minimal de 20 % à l'échelle de la ravine ; (ii) les ouvrages de génie végétal doivent être installés uniquement dans des conditions écologiques favorables, par exemple sur des expositions ombragées; (iii) ces ouvrages doivent être installés dans les fonds des ravines lorsque les pentes sont inférieures à 40 % pour assurer un piégeage efficace des sédiments; (iv) le choix de l'ouvrage approprié à l'intérieur de la ravine est guidé par la présence de végétation sur les versants. Par conséquent, si la végétation est présente, des cordons de boutures sur seuils en bois sont recommandés : cette intervention limite l'opération à l'installation ponctuelle de couverture végétale linéaire dans l'attente d'une colonisation naturelle des sols nus par la végétation environnante. Sinon, l'utilisation de garnissages sur seuils en bois mort est recommandée : cette intervention, plus coûteuse que la première, est nécessaire pour installer directement un tapis de végétation sans attendre une colonisation naturelle par la végétation, surtout lorsque la végétation environnante est trop éloignée du fond des lits de ravines. Cette stratégie de rétention de sédiments fins avec des ouvrages de génie végétal a été définie, discutée et adaptée avec des praticiens et est actuellement appliquée sur les bassins versants torrentiels marneux érodés dans les Alpes du sud françaises.

Cette brève revue bibliographique souligne l'importance de la répartition de la végétation dans les bassins versants et sur les versants pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation (Molina et al., 2009). L'application de diverses mesures de réhabilitation, qui comprennent généralement le traitement de la partie amont de la ravine et le piégeage des sédiments plus à l'aval, semble la méthode quantitativement la plus efficace pour la réduction de la fourniture sédimentaire. Des stratégies de réhabilitation de ravines combinant des mesures de génie civil et de génie végétal sont parfois nécessaires. Les mesures de génie civil comme les seuils et les barrages peuvent en effet être importantes pour stabiliser les sites dans les premières phases, afin de soutenir la revégétalisation des ravines et des pentes adjacentes. Toutefois, la végétation reste la clé du succès à long terme de la réhabilitation des ravines (Bartley et al. 2020 ; Stokes et al., 2014).

### 3.1.3. TECHNIQUES ET OUVRAGES UTILISÉS EN CONTEXTE RAVINAIRE EN NOUVELLE CALÉDONIE

#### 3.1.3.1. Liste des techniques et ouvrages utilisés

La liste des techniques et ouvrages effectivement mis en œuvre en Nouvelle-Calédonie apparaît dans le tableau 2 page suivante, et sur la carte de la Figure 13.



**Figure 13 : Carte de localisation des ouvrages mis en œuvre en Nouvelle Calédonie**

Ce travail d'inventaire a permis de connaître les techniques et ouvrages déjà utilisés en Nouvelle Calédonie (en rose dans le tableau 2), tout en identifiant ceux qui pourraient potentiellement l'être car utilisés ailleurs (en bleu dans ce même tableau).

Parmi les ouvrages déjà utilisés, certains n'ont d'emblée pas été retenus :

- soit parce qu'ils n'étaient utilisés que très ponctuellement : il s'agit du remodelage, des gabions, des murs bois, des risbermes, des boudins coco et de la pose de géofiles
- soit parce qu'ils ont été réalisés dans des conditions trop éloignées du contexte ravinaire : il s'agit du semis hydraulique et de l'ajout de topsoil.

Ainsi, il a été décidé de réaliser des retours d'expérience sur les ouvrages suivants :

- seuils en bois (à paroi simple)
- banquettes grillagées
- cordons de pierres
- fascines de branchages
- plantations.

Il apparaît enfin que les ouvrages faisant intervenir les techniques de bouturage ne sont pas du tout utilisés.

**Tableau 2 : Liste des techniques et ouvrages effectivement utilisés en Nouvelle-Calédonie**

Famille	Id Zsh	Ouvrage	Catégorie	Exemples	Remarques	Photos associées	Accès	Distance / Bourrage	Induction	TOTAL
Non vivant	1.1.3	Arrondir les bords d'arrachements et les pentes talutées, Aplastrer, Modéler	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Remodelage de l'arrachement de Tiébaghi (2008)		- Tiébaghi av 3			2	6
				Remodelage ravine Cook - Poya (2018)		- Fichier PDF Avant-après 18072018 (Ravine Cook) EDOH 3	1	2	1	4
				Remodelage de zones de la mine Bel Air - Houaliou dans le but d'y installer des murs en bois (2010)			2	2	1	5
	1.4	Construction de bermes	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Remodelage de l'arrachement de Cap Bogaço (2008)	Bermes associées à la mise en place de fascines de coco + plantation d'esp. endémiques. Ce chantier est en cours. Il existe 2 autres chantiers avec mise en place de fascines de coco + plantation sur bermes mais terrassées par autre entreprise (- Réhabilitation de la carrière N°2 de DEVA en 2018 & Réaménagement talus du centre de tri et de transfert La Posa en 2020)	- Projet réhab. Carrière Madeleine Carrière DEVA	1	1	1	3
				Réhabilitation de la carrière de la Madeleine (2020)						
	1.6	Rigole ouverte	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Réalisation de cunettes Tiébaghi (2008)	1 seul chantier S/RAS	- Tiébaghi av 2 - Tiébaghi ap 2	1	3	2	6
	1.7	Canal à lit grossier	A tester							
	1.2.2	Brise-vent	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Mise en place de brise-vent artificiels sur les mines De Rouvray et Président Brisson - Mt-Dore (2019)			1	1	1	3
	1.31	Seuil en bois	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Réhabilitation et stabilisation de l'arrachement de Tiébaghi (2008)		- Tiébaghi av 1 - Tiébaghi ap 3	1	3	2	6
				Réhabilitation et stabilisation de l'arrachement de Cap Bogaço (2008)		- Cap Bogaço coulée de boue - Cap Bogaço 3 - Cap Bogaço 4	2	3	1	6
				Stabilisation d'un talus (75 m) et d'une ravine de KNS (2008)		- KNS 1	1	3	2	6
				Réalisation d'un ancien site minier de Bel Air - Houaliou (2010)		- Bel Air 1	2	2	1	5
Réalisation de murs en rondins de bois dans les talus au Cap N'Doua (2014)					- Cap N'Doua 1	1	1	1	3	
Travaux de réhabilitation de ravines par réalisation de seuils en bois simple paroi Mine de Ouala (2015)					- Ouala 1	2	3	2	7	
Réalisation de murs bois simple paroi Mine N'Go (2017)					- N'Go av 1 - N'Go ap 1	1	1	2	4	
Réalisation de murs bois simple paroi (93 m) à Téné - Bourail (2017)					- Téné 2	3	2	1	6	
Réalisation de murs bois simple paroi site Socamifer (2018)					- SOCAMIFER 1, 2 et 3	1	1	1	3	
Réhabilitation de la ravine Cook - Poya (2019)					- Cook 4	1	2	1	4	
Enrichissement	2.1.3	Semis	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Réhabilitation et stabilisation de l'arrachement de Tiébaghi (2008)						
				Semis à sec de 2 100 m <sup>2</sup> sur la mine de Kool - Les Barbouilleurs - Dumbéba (2014)	Zone préalablement remodelée entièrement par autre prestataire	- KOL 1 et 2	1	1	1	3
				Semis hydraulique de 24 ha sur la mine de Thio Plateau (2010)	Traitement de versées, décharges et ravines.		2	2	2	6
	2.13	Nattes de semences	A tester	Semis hydraulique de la Versée AC2 sur Mine Pingin - Poya (2012 à 2015)			1	2	2	5
				Semis hydraulique de la Versée AC1 sur Mine Pingin Poya (2015 à 2019)			1	2	2	5
				Semis hydraulique de 20 ha sur la mine Dotho (2016)	Traitement de décharges, arrachements, zones de déblais/remblais et ravines.		2	2	2	6
				Semis hydraulique de 20 ha sur la mine de Thio Plateau (2017)	Traitement de versées et décharges		2	2	2	6
				Semis hydraulique de 5,5ha mine Oupoué (2014)	Traitement de décharges		1	1	2	4
				Semis hydraulique et semis à sec sur ancienne Mine Président Brisson - Mt-Dore (2017)	Zones préalablement remodelées par autre prestataire	- BRISSON 4	1	1	1	3
				Semis hydraulique de la décharge D9 à Kouaoua (2019)			1	2	2	5
				Semis à sec de 2 450 m <sup>2</sup> sur ancienne Mine Président Brisson - Mt-Dore (2017 & 2019)			1	1	1	3
				Semis hydraulique sur géofilié sur 4 Ha, Versée SMT1 site minier de VALE (2017 & 2019)			1	1	2	4
Semis à sec sur géofilié dans la ravine Cook - Poya (2019)						1	2	1	4	
2.15	Ajout de topsoil	Mis en œuvre / autres entreprises en NC	Semis hydraulique sur géofilié sur 24 000 m <sup>2</sup> , Mine SMT18 (2019)	Plusieurs mineurs épendent du topsoil sur les zones à revegetaliser : la SIA sur Tiébaghi et Thio CDE, la NMC sur la mine Pingin, la SMT sur Michel 37, la SMCB sur Cap Bogaço		2	3	1	6	
3.3 et 3.4	Plantation	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Réhabilitation et stabilisation de l'arrachement de Tiébaghi (2008)			1	3	2	6	
			Plantation de 4 800 plants sur centre minier de Cap Bogaço (2017)	Sur banquettes et plates formes de versées		2	3	1	6	
			Revegetation par plantation de 4 150 plants sur mine Pingin - Poya (2015)	Sur banquettes de versée AC2		1	2	2	5	
			Plantation de 15 000 plants d'espèces classiques de revegetation et d'espèces sensibles sur Mine Pingin - Poya (2015 à 2019)	Sur banquettes de versée AC1 et AC2 + zone de "restauration écologique"		1	2	2	5	
			Revegetation par plantation de 9 500 plants sur mine de Thio Plateau (2017)	Sur banquettes et plates formes de versées		2	2	2	6	
			Travaux de revegetation par plantation de 8 260 plants sur les anciens sites miniers de Kool - Les Barbouilleurs - Dumbéba (2017)	Zones préalablement remodelées par autre prestataire		1	1	1	3	
			Travaux de revegetation par plantation de 13 000 plants sur la mine Tip Top - Dumbéba (2018)	Zones préalablement remodelées par autre prestataire	- TIPTOP 1	1	1	1	3	
			Travaux de revegetation par plantation de 19 500 plants sur les mines De Rouvray et Président Brisson - Mt-Dore (2019)	Zones préalablement remodelées par autre prestataire	- BRISSON 5	1	1	1	3	
			Travaux de plantation de 3 500 plants sur la ravine Cook - Poya (2019)	Sur les bords de la ravine		1	2	1	4	
			Bourrage	5.3 et 5.2	A tester	Bouturage				
Palisade										
Brosses, poignées vivants										
Tressage, clayonnage										
Tressage dérivé en rangs diagonaux										
Fascie vivante										
Tapis de branches à jets, garnissages										
Lits de plants et plançons										
Embranchement de ravin										
6.4	Mottes de gazon	A tester								
7.1, 7.2	Canion en bois végétalisé	A tester								
7.12	Pierres (cordons, enrochements)	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Réalisation de 928 ml de cordons de pierres, Téné - Bourail (2017)		- Téné 1 et 4	3	2	1	6	
			Réalisation de 300 ml de cordons de pierres, TAO 3 - Poya (2018)		- TAO3 1	3	2	1	6	
			Réalisation de 482 ml de cordons de pierres sur mines TAHAFÉ 6 - Ioh - et AMIN 3 - Roumboué (2019)			3	2	1	6	
			Réalisation de 400 ml de cordons de pierres, Ravine Cook - Poya (2019)		- Cook 1	1	2	1	4	
			Réalisation de 400 ml de murs en pierres, Ravine Vulcain - Fortouta (2019)		- VULCAIN 1	2	1	2	5	
7.25, 7.27	Géotextile végétalisé	?								
8.1	Fertiliser	A tester								
8.5	Paillage	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS	Travaux de revegetation sur les mines De Rouvray et Président Brisson - Mt-Dore (2019)	le paillage des plants est systématiquement mis en œuvre sur tous nos chantiers de plantations		1	1	1	3	
			Réhabilitation de la carrière de la Madeleine (2020)			1	1	1	3	
			Mise en place de clôture autour des zones de plantation sur la mine SMT18 - Fonds Nickel (2019)			2	3	1	6	
8.24, 8.25	Pose de clôture	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS								
8.30	Resemencement	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS								
8.31	Replanter	Mis en œuvre ailleurs + Mis en œuvre / S/RAS		Effectuer surtout dans le cadre de la garantie de nos travaux						
X	Fascines de branchage ("mortes") ou en sac de toile de jute	Mis en œuvre / S/RAS	Fabrication et mise en œuvre d'environ 10 000 mètres linéaires de fascines dans la Vallée de la Fal Pwa, Poro (2008)		- Poro 1	1	2	1	4	
			Fabrication et mise en œuvre de 450 mètres linéaires de fascines dans une ravine de la mine de Cap Bogaço, suite à une coulée de boue (2008)		- Cap Bogaço 1	2	3	1	6	
			Fabrication et mise en œuvre de 1 900 mètres linéaires de fascines sur la mine Moulins, Thio Plateau (2010)			2	2	2	6	
			Fabrication et mise en œuvre de 475 mètres linéaires de fascines sur la mine Bel Air - Houaliou (2011)			2	2	1	5	
			Fabrication et mise en œuvre de 300 mètres linéaires de fascines sur une ancienne décharge à stériles, Duimé (2015)		- Duimé 1	3	3	2	8	
			Fabrication et mise en œuvre de 1714 fascines sur le chantier de Téné, Bourail (2017)		- Téné 3	3	2	1	6	
			Fabrication et mise en œuvre de 202 fascines sur le chantier de Tip Top, Dumbéba (2018)			1	1	1	3	
			Fabrication et mise en œuvre de 142 fascines de branchage, des ouvrages linéaires en pinus et 200 fascines souples en toile de jute sur le chantier de TAO 3 - Poya (2018)		- TAO3 1	3	2	1	6	
			Fabrication et mise en œuvre de 450 fascines sur le chantier Ravine Cook - Poya (2019)			1	2	1	4	
			Fabrication et mise en œuvre de 300 fascines sur le chantier Ravine Vulcain (2019)			2	1	2	5	
Fascines en rondins	Mis en œuvre / S/RAS	Travaux d'ouvrages en rondins de bois dans le cadre de la réhabilitation de l'ancien site minier de Bel Air - Houaliou (2010)			- Bel Air 2	2	2	1	5	

### 3.1.3.2. Retours d'expériences sur l'efficacité des ouvrages utilisés

Les retours d'expériences, essentiellement qualitatifs, sont issus de plusieurs missions (Rey, 2019 ; SIRAS, 2021, Annexe 3 ; Crosaz, 2021, Annexe 5). Il s'est agi, sur la base de retours d'expériences sur des ouvrages utilisés par le passé en Nouvelle Calédonie en contexte ravinaire, de tirer des conclusions sur leur réussite et leur échec, en termes de végétalisation, de contrôle de l'érosion et de la sédimentation, et plus largement de restauration écologique.

#### 3.1.3.2.1. À propos des seuils avec déversoirs

Lors de nos visites, nous avons constaté que tous les seuils construits au fond des ravines présentent un déversoir. Nous avons donc analysé (1) quelques-uns des cahiers des charges qui établissent avec rigueur et précision la coupe schématique en travers et les caractéristiques morphologiques des seuils, et (2) l'ouvrage pris pour référence en appui de ces prescriptions techniques, à savoir le guide technique ONF de 2009 rédigé par un collectif de spécialistes en génie civil et hydraulique.

Ce guide technique s'intitule « Ouvrages bois dans les cours d'eau » - Etat de l'art, applications et dimensionnements. On trouve dans cet ouvrage quelques affirmations qui sont sans ambiguïté quant aux situations auxquelles il s'applique et à celles auxquelles il ne s'applique pas. Citons, à titre d'exemples :

- en page 8 : « *Ce guide est un outil destiné aux différents acteurs des milieux aquatiques qui souhaitent aménager un cours d'eau à l'aide d'ouvrages en bois* » ;

- en résumé, dernière page : « *Ce guide traite de la construction de petits ouvrages en bois (barrages, seuils et soutènements de berges dont la taille n'excède pas 5 à 6 mètres de hauteur) dans les cours d'eau de plaine ou de montagne en France mais également à l'étranger. Il est destiné prioritairement aux praticiens (maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou entrepreneur) qui interviennent dans les milieux aquatiques...* » ;

- en page 13, au sujet des seuils en bois à simple paroi : *ces ouvrages de génie civil sont parfois associés à des éléments « vivants », des plantes suivant les techniques du génie végétal. L'objectif est d'assurer le maintien en place des végétaux dans l'attente de leur développement et ainsi indirectement de leur gain en autonomie. Les techniques de génie végétal ne seront pas présentées ici puisqu'elles font appel à une ingénierie spécialisée par ailleurs développée dans de nombreuses publications.*

Les ouvrages et guides de référence spécialisés en génie végétal en milieu torrentiel, et plus particulièrement en contexte ravinaire (Rey, 2011 ; Rey 2018), sont quant à eux on ne peut plus clair quant au design des seuils en bois et à la nécessité de ne pas construire de déversoir (ce principe s'appliquant, en métropole et sous climat méditerranéen, pour des ravines drainant moins de 3 ha d'impluvium). Les éventuelles problématiques de contournement potentiel des ouvrages sont appréhendées, le cas échéant, par l'installation, sur les versants de part et d'autre de l'ouvrage, de plants en continuité du tapis végétal, grâce à des cordons et des garnissages de plants (cf. Rey, 2018).

Il est donc impératif que les principaux intervenants concernés, à savoir la maîtrise d'œuvre en bureaux d'études ou interne aux opérateurs, prennent en compte ces éléments de bonnes pratiques et rédigent des prescriptions techniques conformes aux attentes des maîtres d'ouvrage.



**Figure 14 : Seuil en bois sans déversoir (Socamifer)**



**Figure 15 : Seuil en bois avec déversoir (Bel air)**

En outre, des gains financiers ainsi qu'une amélioration des résultats techniques et de la cohérence écologique sont en jeu (voir ci-après).

Que faire alors pour les seuils en place ? La présence des déversoirs est vraiment contre-productive : comme le signale d'ailleurs le guide ONF précédemment cité, le fait de canaliser les écoulements au niveau du déversoir conduit à la création d'une « chute d'eau » concentrée qui oblige alors la mise en place d'un dispositif anti-affouillement pour se prémunir des phénomènes de lessivage au pied du seuil.

Nous avons effectivement observé nombre de seuils avec des ancrages renforcés (1) par des plots bétons et (2) par des enrochements. Sur le plan financier, cette construction est plus coûteuse et il y a donc de substantielles économies à réaliser. En outre, supprimer les plots et assises en béton est plus cohérent du point de vue écologique. Sur le plan technique, à l'aval du seuil, la présence des enrochements complique, voire rend impossible la mise en place du matériel végétal, ce qui est tout de même l'objectif final de la technique. Et il en est de même à l'amont du seuil, où il est impossible d'installer (1) le cordon de bouture en crête ainsi que (2) les boutures de garnissage sur plusieurs m<sup>2</sup> à proximité du déversoir.

La disponibilité en boutures pour quelques espèces adaptées n'est pas encore effective en Nouvelle-Calédonie. Dans l'attente, la « fermeture » des déversoirs des seuils en place pourrait être avantageusement menée. Cette opération ne présente en effet pas de difficulté technique, permettrait de retenir sur place des volumes supplémentaires importants de matériaux érodés et constituerait des milieux plus propices encore à l'implantation et au développement des végétaux, notamment une plus grande profondeur de terrain d'ancrage et prospectable par le système racinaire, de plus grands volumes d'eau retenus dans les atterrissements et disponibles pour les plantes.

#### **3.1.3.2.2. Les techniques inertes de stabilisation**

En-dehors des seuils en bois, d'autres ouvrages de stabilisation ont été utilisés en contexte ravinaire en Nouvelle-Calédonie. La quasi-totalité de ces ouvrages a été utilisée sur les versants des ravines, en courbes de niveau. Il s'agit :

- des banquettes grillagées (Figure 16), par exemple à la Coulée
- des cordons de pierres (Figure 17), comme à Bel Air
- des fascines de branchages morts (Figure 18), comme à Ouala.



**Figure 16 : Banquettes grillagées (photo : F. Rey)**



**Figure 17 : Cordons de pierres (photo : SIRAS)**



**Figure 18 : Fascine de branchages (photo : SIRAS)**

Ces ouvrages montrent généralement une bonne tenue en place, due au fait qu'ils sont placés sur les versants où, malgré une forte pente, les contraintes hydrologiques sont beaucoup plus faibles que dans les lits des ravines (ruissellement diffus).

### **3.1.3.2.3. Les techniques de végétalisation**

Les ouvrages de stabilisation cités plus haut sont la plupart du temps efficacement végétalisés grâce à des plantations, soit en plein, ce qu'on qualifie en métropole de « garnissage de plants » (Figure 19), soit de manière linéaire le long de l'ouvrage de stabilisation, ce que l'on qualifie de « cordon de plants » (Figure 20) en métropole. Il existe également des plantations réalisées directement au sol, sans ouvrage de stabilisation. La plantation représente en effet la technique de génie végétal la plus adaptée aux contextes de pentes fortes.



**Figure 19 : Garnissage de plants (ou plantation en plein) (photo : F. Rey)**



**Figure 20 : Cordons de plants (photo : F. Rey)**

Des opérations d'ensemencement ont été réalisées ponctuellement sur certaines ravines (Cook par exemple). Comme nous l'avons mentionné plus haut dans ce rapport, l'utilisation de graines est très limitée là où les contraintes gravitaires (pente), hydrologiques ou hydrauliques sont trop importantes, les graines pouvant être facilement emportées dans ces cas, même en présence de fixateurs ou de géofilets. Cela explique les résultats mitigés que l'on peut observer sur certains sites comme sur la ravine Cook (Figure 21).



**Figure 21 : Problème de tenue en place d'un géofilet dans le lit d'une ravine (photo : SIRAS)**

Nous faisons le constat qu'il existe un certain savoir-faire en génie végétal appliqué et/ou applicable en Nouvelle-Calédonie. Cependant, ce savoir-faire fait exclusivement appel aux deux types de matériel végétal que sont les semences et les plants. Il fait en revanche ressortir qu'il existe de fortes lacunes quant à l'utilisation de boutures, alors que ce type de matériel apparaît particulièrement bien adapté au génie végétal en contexte ravinaire. La disponibilité du matériel végétal apparaît comme un point de faiblesse significatif, et même un facteur bloquant, en ce qui concerne les boutures, à la bonne mise œuvre et au développement des techniques du génie végétal en Nouvelle-Calédonie. Les lacunes concernent donc autant le savoir et le savoir-faire autour de la capacité d'espèces locales à être utilisées sous forme de boutures, que sur l'existence même d'une filière de production de boutures (et aussi de semences, voir le programme NATIVE). Ce territoire ne dispose en effet d'aucune filière de ce type et il n'est pas souhaitable d'approvisionner les chantiers à partir de prélèvements effectués dans les milieux naturels.

## 3.2. TECHNIQUES À DÉMONTRER ET TESTER

### 3.2.1. LISTE DES TECHNIQUES ET OUVRAGES

Au final, les techniques et ouvrages à démontrer et/ou tester en contexte ravinaire en Nouvelle-Calédonie sont présentés sur la figure 22. Le descriptif de ces ouvrages est présenté à la fin du rapport final complet (Partie 5 « Référentiel technique »).



Figure 22 : Ouvrages à démontrer/tester en contexte ravinaire en Nouvelle-Calédonie

### 3.2.2. STRATÉGIE TYPE DE GÉNIE VÉGÉTAL EN CONTEXTE RAVINAIRE

Les techniques et ouvrages mis en œuvre sur les sites de démonstration devront permettre de répondre à la « stratégie type » suivante de génie végétal (Rey, 2018 ; figure 23) :

- au fond des ravines : seuils sans déversoirs + cordons de boutures + garnissages de boutures
- en bas de versant : cordons de plants + garnissages de plants
- sur versant : banquettes grillagées végétalisées, ou cordons de pierres végétalisés, ou fascines de branchages végétalisées (plantations en plein ou en cordons).



Figure 23 : illustration de la stratégie type de génie végétal en contexte ravinaire

### **3.3. SITES DE DÉMONSTRATION ET PRÉ-EXPÉRIMENTAUX RETENUS**

#### **3.3.1. CONNAISSANCES GÉNÉRIQUES**

En France, le réseau le plus abouti en sites de démonstration de restauration écologique est celui mis en place par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) « Eaux et milieux aquatiques » qui a été conçu dans l'objectif de combler le manque de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau par la production d'éléments de connaissance. Il s'agissait de mettre en œuvre, sur tout un réseau de sites d'opérations de restauration hydromorphologique, un suivi standardisé appelé – Suivi Scientifique Minimal (SSM) – permettant d'acquérir sur le long-terme des données homogènes et traçables. Plusieurs études de synthèse et retours d'expériences en France et à l'étranger avaient en effet révélé préalablement que les suivis d'opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau sont souvent peu ou mal mis en œuvre. Ces travaux sont riches en enseignements, notamment en termes de « bonnes pratiques » pour mettre en œuvre les opérations de restauration de manière pertinente. Cependant, ces travaux de synthèse, basés sur des études de cas, soulignent également le manque de données robustes de suivi permettant de conforter les connaissances sur l'efficacité des techniques de restauration et leurs effets sur les milieux (Malavoi & Souchon, 2010 ; Navarro et al., 2012).

Les sites de démonstration visent à répondre à un double objectif : (1) opérationnel, afin de prévoir l'efficacité de l'opération de restauration, être en capacité de communiquer à partir de retours d'expériences mieux documentés, tirer des enseignements sur les techniques de génie écologique et contribuer à l'élaboration de stratégies de suivis adaptés aux enjeux locaux, et (2) scientifique, afin de tirer des enseignements validés scientifiquement et donc extrapolables, et d'améliorer la connaissance notamment sur le fonctionnement des milieux à l'échelle locale et nationale.

Aujourd'hui, une quarantaine de sites ont intégré le « réseau Sites de démonstration » cité, devant respecter les critères liés à : 1/ l'opération de restauration : type de restauration, site présentant des altérations au sens de la Directive Cadre sur l'Eau..., 2/ le suivi mis en œuvre : application stricte du SSM sur le compartiment hydromorphologique et au moins sur un compartiment biologique, sur au moins trois stations de suivi..., 3/ la bancarisation des données : base nationale de données, bassin...

Ce réseau a notamment permis la réalisation d'un recueil d'expériences sur l'hydromorphologie des cours d'eau, destiné aux acteurs de l'eau et partenaires locaux avec pour ambition d'inciter à la mise en œuvre de nouvelles actions de restauration physique des cours d'eau. Il regroupe, sous forme de fiches, des arguments en faveur de la restauration des cours d'eau et présente plus de 120 exemples d'opérations qui ont eu lieu ces 20 dernières années.

### **3.3.2. SITES DE DÉMONSTRATION EXISTANT EN NOUVELLE CALÉDONIE**

En 2011, un site de démonstration de restauration écologique d'un site dégradé en Province sud de Nouvelle-Calédonie a été mis en place par la Direction du Développement Rural. Il s'agit du site de « La Coulée », sur la commune du Mont-Dore. C'est un projet d'application en Nouvelle-Calédonie de techniques RTM (Restauration des Terrains en Montagne) utilisées en métropole depuis 150 ans (Figure 24). Ces techniques ont été appliquées sur un « lavaka », c'est-à-dire une ravine incisée par l'érosion. Les travaux ont consisté en des ouvrages de correction torrentielle, sous la forme de seuils, construits dans les lits des ravines, réalisés en rondins de bois à simple ou double parois et remplis de pierres, dont l'objectif est de dissiper l'énergie des torrents lors des crues. D'autres ouvrages de stabilisation des versants, tels que des banquettes grillagées et des lignes de boudins grillagés, ont été construits. Ils sont complétés, sur près de 70 hectares, par des plantations en plein sur les versants des ravines, ainsi que sur les plateaux inclinés dégradés, à l'aide d'une vingtaine d'espèces différentes et endémiques du maquis minier.



**Figure 24 : Application de techniques RTM de métropole sur le site de « La Coulée »  
(photos : F. Rey, 2015)**

L'opération a depuis été dupliquée sur le site du Cap N'Dua en 2013 et dans la réserve intégrale de la montagne des sources ainsi que le parc provincial de Dumbéa en 2014.

### 3.3.3. RAVINES CANDIDATES PROPOSÉES PAR LES OPÉRATEURS

Nous avons reçu 18 propositions émanant de 6 opérateurs différents, miniers ou non. Les sites candidats sont représentés sur la figure 25.



Figure 25 : Ravines candidates pour les sites de démonstration

### **3.3.4. CHOIX DES SITES RETENUS**

Concernant l'aspect « démonstration » du projet, comme indiqué précédemment, nous proposons de créer un véritable « réseau de sites de démonstration », qui comprendra des sites correspondant à d'anciens chantiers, pour lesquels il existe une vraie plus-value à les faire visiter. Ces sites ont été choisis parmi ceux faisant partie du cortège de chantiers soumis à des retours d'expériences.

Le premier travail a consisté à éliminer un premier lot de ravines, à dire d'expert et essentiellement sur la base de critères d'accessibilité et de pente (tableau 3). Les ravines éliminées et les explications sont présentées dans l'Annexe 4.

La suite du travail a consisté, suite aux visites sur place (Annexe 5), à sélectionner des sites qui pourraient être retenus et intégrés au réseau de sites de démonstration, à la condition de faire l'objet de travaux complémentaires, les amenant ainsi à être aménagés conformément aux bonnes pratiques de génie végétal.

Au final, les sites de démonstration retenus sont les suivants :

- Nakety
- Parc de la rivière bleue
- Socamifer
- Vulcain
- Houaïlou – Bel Air
- Olympia 1
- La Coulée

**Tableau 3 : Liste des sites écartés ou visités**

Nom du site	Commune	Maître d'ouvrage	Sélection
André 2	La Tontouta	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : pente du profil et granulométrie du terrain trop élevées
Cap N'dua	?	DIMENC / SMC / FNI	site écarté car aménagé d'ouvrages similaires à ceux de La Coulée et moins accessible que ce dernier
Creek Jeanne et Marie	Thio	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : De par son ampleur, le site ne présente pas les caractéristiques appropriées pour être remis en état par les techniques du génie végétal
Creek Vincent	Thio	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : De par son ampleur, le site ne présente pas les caractéristiques appropriées pour être remis en état par les techniques du génie végétal
Dunité 78	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
Lucien Waweja	Houïalou	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
Pic Adjio	La Poya nord	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : accessibilité faible (hélico)
Ravines de Paidi	Pouembout	DIMENC / SMC / FNI	travaux de semis hydraulique réalisés en 2020 par SIRAS Pacifique. Site non retenu : voir Kopéto
Président Brisson (décharge)	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
Port Arthur	Sarraméa	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : pente du profil et granulométrie du terrain trop élevées
Ravine Félix	Païta	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
Sainte Marie Nakale	Thio	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
Ravine Trazy Guerioum	Koné	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : accessibilité aléatoire (piste privée)
Sainte Marie (St Pierre)	Thio	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
SMT Jeanine	La Poya sud	DIMENC / SMC / FNI	site écarté lors de l'entretien avec Véronique Forlacroix
SMGN Vulcain (Cook)	La Tontouta	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : accessibilité aléatoire (piste privée)
SOCAMIFER - ravine 1	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site visité ; valider son intégration et les travaux à mener
SOCAMIFER - ravine 2	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site visité ; valider son intégration et les travaux à mener
TOA3	La Poya nord	DIMENC / SMC / FNI	site écarté : accessibilité faible (durée marche > 1 h)
AMN3	Népoui	Ecosophy	site écarté : pente du profil et granulométrie du terrain trop élevées
N'Go – Carrière basse	?	NMC	site écarté : accessibilité faible
Ravine Cook - mine Pinpin	La Poya	NMC	site écarté : accessibilité aléatoire (piste privée)
Entrée du parc (lequel ?)	?	Province-Sud	site écarté : pente du profil trop élevée
Ravines avec PL T	Bouacou	? Proposé par SIRAS Pacifique	site écarté : pente du profil trop élevée ; REX plantations SIRAS Pacifique à faire ?
Mamelon 14, mine Nakety	Canala	SMT	site écarté : pente du profil trop élevée
Ravine 1	Dumbéa	WWF	site écarté : accessibilité faible (700m à pied depuis piste / héliportage)
Ravine 2	Dumbéa	WWF	site écarté : pente du profil trop élevée (60%)
Ravine 3	Dumbéa	WWF	site écarté : pente du profil trop élevée (60%)
Ravine 4	Dumbéa	WWF	site écarté : accessibilité faible (franchissement rivière / héliportage)
Ravine 4	Dumbéa	WWF	site écarté : accessibilité faible (piste à rénover / héliportage)
Coulée (PS)	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site visité et retenu
Olympia	Mont-Dore	DIMENC / SMC / FNI	site visité ; valider son intégration et les travaux à mener

### 3.4. CONCEPTION ET RÉALISATION DES SITES DE DÉMONSTRATION

La conception et la réalisation des sites de démonstration comprennent deux volets :

- un **volet de maîtrise d'œuvre des ouvrages** à mettre en place : il s'agit ici de définir puis dimensionner les travaux à réaliser afin de rendre qualifiables les sites concernés comme « sites de démonstration » ; ils pourront ainsi être intégrés au réseau des sites démonstratifs des techniques du génie végétal. Les sites correspondent soit à des ravines déjà aménagées pour lesquelles des travaux complémentaires sont indispensables (effacement des déversoirs, mise en place du matériel végétal), soit à des ravines non encore aménagées qui présentent les caractéristiques adéquates pour l'être ;
- un **volet pré-expérimental**, afin de lever les lacunes de connaissances sur le bouturage, et permettre de répondre aux objectifs initiaux du projet.

#### 3.4.1. VOLET DE MAÎTRISE D'ŒUVRE

##### 3.4.1.1. Liste des sites (rappel)

Les sites de démonstration retenus sont localisés sur la Figure 26.



Figure 26 : Localisation des sites de démonstration

Lors des visites, chacun des emplacements pour lesquels des travaux sont proposés ont été associés à un point GPS par l'entreprise SIRAS Pacifique.

Le descriptif des travaux est établi de manière à pouvoir aisément calculer le coût correspondant de réalisation.

### **3.4.1.2. Les techniques proposées**

L'ensemble des techniques listées comme opportunes pour la végétalisation de ravines en Nouvelle-Calédonie font l'objet d'une démonstration, à l'exception des couches de boutures (ou couches de branches à rejets), qui sont incluses dans le volet pré-expérimental.

Les descriptifs pour la conception de ces ouvrages reprennent ceux décrits dans le « référentiel technique », afin d'éviter les allers-retours entre ce dernier et cette partie du rapport.

Ces techniques sont démontrées sous la forme d'ouvrages combinés, alliant un ouvrage de support (fascine, banquette grillagée, cordon de pierres ou seuil) et une action de végétalisation proprement dite (cordon de boutures ou de plants, garnissage de boutures ou de plants). Il s'agit de :

#### **- Fascines végétalisées**

Cette technique est proposée sur les sites de Nakety (ravine non encore aménagée) et de Vulcain (ravine déjà aménagée).

Conformément aux règles de l'art (établies en métropole), les fascines doivent être constituées de branches ou de fagots de branche en bois vivant : les branches doivent ainsi avoir été coupées des individus « source » depuis moins de 48 heures et conservées dans les meilleures conditions possibles (bases des branches placées dans de l'eau, branches couvertes de bâches humides).

Les plants sont le seul type de matériel végétal adapté à la végétalisation des fascines. Ils sont mis en place en cordon sur les petits atterrissements de matériaux fins constitués à l'amont des fascines.

#### **- Banquettes grillagées végétalisées**

Cette technique est proposée sur le site de la Coulée, où des banquettes grillagées ont été mises en place il y a plusieurs années.

Il s'agit ici de végétaliser les atterrissements de matériaux fins constitués à l'amont des grillages. Pour rappel, dans l'état d'esprit des règles de l'art, constituer une succession d'atterrissements perpendiculaires à la pente d'un versant n'est qu'une étape intermédiaire, un moyen, mais néanmoins une étape obligatoire, afin de pouvoir implanter du matériel végétal en cordon.

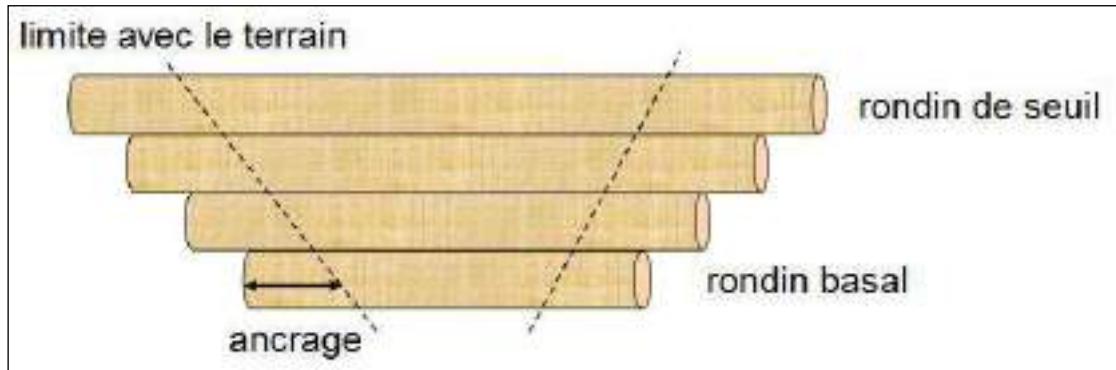
Les plants sont le seul type de matériel végétal adapté à la configuration « banquettes ».

#### **- Seuils en bois mort végétalisés**

Cette technique est proposée sur les sites Nakety, Parc provincial de la rivière bleue, Socamifer, Vulcain, Bel Air et Olympia 1.

Le schéma de principe de construction d'un seuil en bois est donné à la figure 27 : le seuil est constitué d'un empilement de rondins en bois mort, traité anti-pourrissement, d'un diamètre généralement de 16 cm (éventuellement 18 cm) et de longueur variable et ajustée à la

morphologie du profil en travers de la ravine. Les bois sont ancrés de part et d'autre d'un mètre environ dans le terrain des versants. La longueur de la partie ancrée pourra être diminuée jusqu'à 50 cm environ pour des ouvrages dont la sollicitation lors des crues est de moindre importance et présentent alors des dimensions « modestes » : longueur du rondin de seuil inférieure à 1,5m ou hauteur du seuil inférieure à 70cm.



**Figure 27 : Schéma de principe d'un seuil en bois mort à végétaliser**

Les rondins sont solidarisés verticalement 2 par 2 par des fers à béton, régulièrement espacés. Si transversalement, 2 rondins sont nécessaires (leur longueur unitaire varie de 2 à 4 mètres), ceux-ci sont aboutés et la jonction est consolidée à l'aide d'une agrafe métallique, en U aplati (Figure 28).

Dans les descriptifs techniques détaillés ci-après, sont donnés :

- le nombre total de rondins à empiler (rondins de diamètre 16 cm),
- la longueur du rondin basal, y compris les parties gauche et droite ancrées dans le terrain,
- la longueur du rondin de seuil, y compris les parties gauche et droite ancrées dans le terrain,

Une fois le seuil complètement rempli à l'amont par la sédimentation des matériaux érodés et transportés par les crues, l'atterrissement ainsi constitué est végétalisé en 2 étapes successives et décalées dans le temps, décrite ci-après (les boutures sont le seul type de matériel végétal adapté à la configuration « seuils ») :

- mise en place de boutures en cordon linéaire le long du seuil,
- une fois que les boutures du seuil sont constatées « reprises », mise en place d'autres boutures en garnissage sur l'atterrissement.

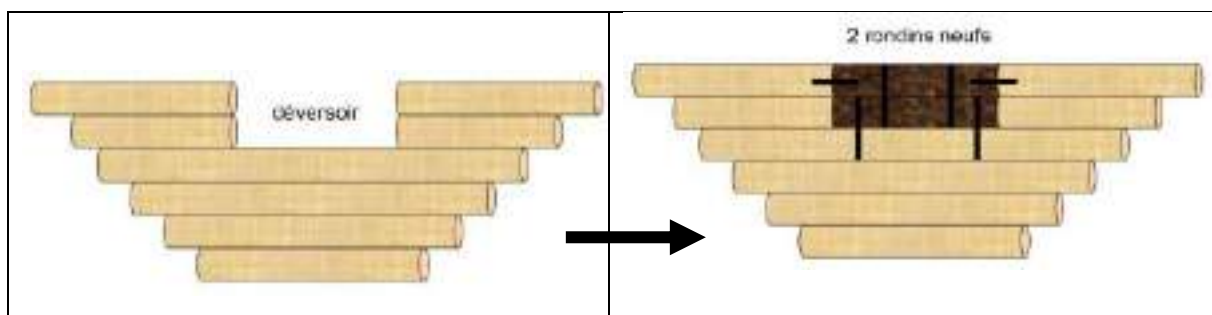


**Figure 28 : Agrafe de mariage de 2 rondins dans le sens transversal**

Au sujet de l'effacement des déversoirs, 3 procédés ont été mis en œuvre sur le dispositif expérimental à Socamifer, en fonction de la configuration rencontrée. Les prescriptions techniques établies ci-après reprennent l'un ou l'autre de ces procédés, mais néanmoins sans avoir le retour de l'essai en cours, uniquement du fait de la validation *in situ* de la faisabilité de la mise en œuvre de ces procédés. En outre, les toutes premières constatations faites lors de cette mise en œuvre « expérimentale » questionnent sur un autre procédé possible dans le cas où il est décidé de conserver tous les rondins en place (majorité des cas à venir) : l'effacement des rondins pourrait effectivement être fait en insérant dans le vide des déversoirs, l'exacte longueur des bois nécessaires. La fixation pourrait être assurée par des fers à béton transversaux et des agrafes de mariage fixées de chaque côté des bois rajoutés, du côté amont. La figure 29 donne le schéma de principe de ce procédé.

Ce procédé présente l'avantage (1) de ne pas générer un enjeu érosif supplémentaire au niveau du déversoir effacé et (2) de conserver la possibilité d'implanter un cordon linéaire de boutures. Ce procédé mériterait d'être expérimenté sur plusieurs seuils, pour valider la résistance aux crues des bois rajoutés, pendant la durée nécessaire au remplissage complet de l'atterrissement.

Concernant la végétalisation des seuils, la nature des espèces à bouturer constituant la palette végétale n'est pas (encore) validée ; le dispositif expérimental (voir chapitre la partie 1 de ce rapport) a pour objectif d'amorcer le processus de validation.



**Figure 29 : Schéma de principe d'un autre procédé d'effacement du déversoir, à expérimenter**

### 3.4.1.4. Descriptif par site

#### 3.4.1.4.1. Nakety

L'exploitant envisage la réfection de la piste qui traverse le haut de la ravine. Ces travaux vont inmanquablement générer une remobilisation de matériaux fins qui seront entraînés vers l'aval lors des événements pluvieux. Dans une double approche de blocage des matériaux érodés dans la ravine (sédimentation) et de renaturation de la ravine, les travaux suivants sont proposés :

- en partie intermédiaire, sur versants : quelques fascines
- en sortie de ravine, tout à l'aval, seuil en bois mort à végétaliser

La localisation de la ravine et des emplacements des ouvrages préconisés est donnée à l'annexe 8.

#### **i) Les fascines**

En partie intermédiaire de la ravine, 2 secteurs de versant ont été repérés adéquats pour mettre en place quelques fascines. Préalablement, la pente du talus sera adoucie, notamment en grattant les matériaux en crête et en les ramenant sur le bas du versant ; l'ensemble du profil sera également gratté sur quelques centimètres de profondeur. La remobilisation des matériaux en surface permettra ainsi le remplissage complet de l'espace constitué à l'amont. L'intervention d'une pelle araignée apparaît indiquée pour mener ces travaux, compte tenu de la configuration du site.

L'emplacement 1 (le plus en amont, figure 30), permet de réaliser 4 niveaux de fascines d'environ 3,5, 4, 5 et 8 mètres de longueur, mesurés de l'amont vers l'aval, soit 30 mètres linéaires au total.

L'emplacement 2 (le plus en aval, figure 30), permet de réaliser 3 niveaux de fascines d'environ 9, 11 et 10 mètres de longueur, mesurés de l'amont vers l'aval, soit 30 mètres linéaires au total.

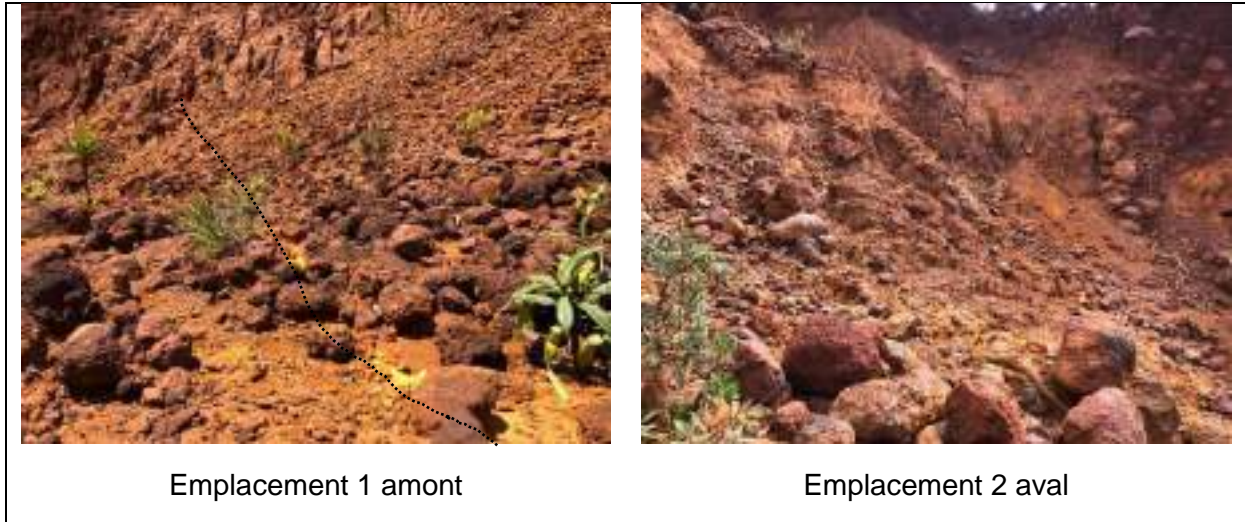
Pour mémoire, les lignes de fascines ont été tracées à la bombe de chantier.

Pour la confection des fascines, deux espèces végétales sont préconisées à ce jour, parmi celles en cours d'expérimentation à Socamifer : *Grevillea gillivrayi* et *Peripterygia marginata*. Par analogie aux essais concernant *Geissois pruinosa* (absente du site de Nakéty), *Grevillea magnifica* pourrait également être testée.

Pour les plantations sur l'atterrissement à l'amont des fascines, les espèces végétales à la fois repérées dans le secteur (biocénose) et disponibles en pépinière sous forme de plants, qui peuvent ainsi être préconisées sont :

- *Arillastrum gummiferum*
- *Codia discolor*
- *Grevillea gillivrayi*
- *Hibbertia pancheri*
- *Longetia buxoides*
- *Sannantha leratii*

A noter que les observations faites lors de la visite amènent à réfléchir sur l'usage de *Arillastrum gummiferum* et *Ilex sebertii* en boutures et/ou branches pour fascines (expérimentations à venir ?).



**Figure 30: Emplacements des fascines à Nakety**

#### **ii) Seuil en bois mort**

En partie basse, à la sortie de la ravine (figure 31) un seuil en bois mort à végétaliser est préconisé afin de sédimenter les matériaux fins transportés par les crues lors des événements pluvieux. Les caractéristiques du seuil en bois mort à construire sont les suivantes :

- longueur du rondin basal : 5,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 6,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 1,30m, soit 8 rondins en diamètre 16 cm



**Figure 31 : Emplacement du seuil en bois mort à végétaliser à la sortie de la ravine à Nakety**

La végétalisation de cet ouvrage consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours ; il existe sur le site des secteurs où le défrichage a été autorisé : l'exploitant minier vérifiera quelles espèces sont présentes, certaines pouvant fournir des individus « source » en cas de prélèvement in situ.

#### *3.4.1.4.2. Parc provincial de la rivière bleue (PPRB)*

Des 4 lavakas pré identifiés, c'est le lavaka 1 (par ordre de position le long de la route depuis la maison du Parc) qui est retenu pour faire l'objet de travaux d'aménagement.

La localisation de la ravine et des emplacements des ouvrages préconisés est donnée à l'annexe 8.

#### **i) Seuil en bois mort**

Sur cette figure d'érosion spécifique, l'aménagement proposé consiste à installer une série de seuils en bois mort, d'une part au fond de la ravine principale (4 seuils) et d'autre part au fond d'une ravine secondaire (5 seuils) qui se connecte à « mi longueur » de la ravine principale sur la gauche (vue depuis l'aval). En effet cette ravine secondaire est active et draine les eaux d'une partie du versant de la colline. Les caractéristiques des seuils en bois mort à construire sont détaillées ci-après.

Pour la ravine principale, du bas en remontant le profil :

Seuil 1 (figure 32) :

- longueur du rondin basal : 8,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)

- longueur du rondin de seuil : 8,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 30 à 45cm, soit 2 à 3 rondins en diamètre 16 cm



**Figure 32 : Emplacement du seuil 1, lavaka, PPRB**

Seuil 2 :

- longueur du rondin basal : 3,60m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,40m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 1,30m, soit 8 rondins en diamètre 16 cm

Seuil 3 :

- longueur du rondin basal : 4,30m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,80m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 1,45m, soit 9 rondins en diamètre 16 cm

Seuil 4 (figure 33, juste à l'amont du « verrou » naturel) :

- longueur du rondin basal : 3,60m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 1,45m, soit 9 rondins en diamètre 16 cm



**Figure 33 : Emplacement du seuil 4, lavaka, PPRB**

Pour la ravine secondaire, du bas en remontant le profil :

Seuil 5 :

- longueur du rondin basal : 1,80ms (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 3,00ms (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 50cm, soit 3 rondins en diamètre 16 cm

Seuil 6 :

- longueur du rondin basal : 1,70m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 2,30m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 50cm, soit 3 rondins en diamètre 16 cm

Seuil 7 :

- longueur du rondin basal : 2,20m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 3,80m (dont 2 X 0,7m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 50cm, soit 3 rondins en diamètre 16 cm

Les 2 derniers seuils (8 et 9) sont implantés en tête de la ravine secondaire, dans une partie qui part sur la droite (vue depuis l'aval).

Seuil 8 :

- longueur du rondin basal : 1,70m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 2,00m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 40 à 50cm, soit 2/3 rondins en diamètre 16 cm

Seuil 9 :

- longueur du rondin basal : 2,60m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 1,60m (dont 2 X 0,5m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 95cm, soit 6 rondins en diamètre 16 cm

La végétalisation de ces ouvrages consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours. Les trois espèces faisant l'objet de l'essai sur Socamifer sont présentes au sein du parc. Plusieurs observations concordantes (figure 34) amènent à réfléchir sur la faisabilité d'utiliser *Nepenthes vieillardii* (espèce carnivore) en installant des plants en crêtes de versant, dans l'objectif d'une végétalisation progressive des versants par le haut.



**Figure 34 : Végétalisation des versants du lavaka, depuis le haut, par les tiges rampantes de *Nepenthes vieillardii* - PPRB**

#### 3.4.1.4.3. Socamifer

Deux ravines ont été identifiées sur ce site ; une est retenue pour la mise en place du dispositif expérimental « boutures » (voir chapitre correspondant), l'autre fait l'objet des prescriptions techniques détaillées ci-après. Pour celle-ci, l'enjeu est la pérennité d'une piste d'accès car la ravine entaille le terrain à proximité immédiate de la piste. Par comparaison des clichés de novembre 2021 et de septembre 2022 (figure 35), on constate effectivement que l'érosion est active. Une série de 12 seuils en bois morts a été installée en fond de ravine.

A l'issue de la visite effectuée en 2021, nous avons envisagé de mettre en place une deuxième série de seuils, en appui de la première.

La localisation de la ravine et des emplacements des ouvrages préconisés est donnée à l'annexe 8.

#### **i) Seuil en bois mort**

En 2022, force est de constater que trop de seuils sont dégradés (qualité insuffisante des rondins en bois mort) pour engager autre chose que le remplacement de 7 d'entre eux et l'effacement des déversoirs pour les 5 autres. Il est également préconisé de construire un seuil supplémentaire en sortie de ravine. Pour les seuils de remplacement, leur emplacement est donné par rapport au seuil à remplacer, entre 1 et 3m à l'amont ou à l'aval. Les seuils déjà en place sont laissés en l'état.

Du bas de la ravine, en remontant le profil :

**Seuil 1** (nouvel ouvrage) :

- longueur du rondin basal : 3,60m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,20m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 4 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 2**, figure 36 (seuil de remplacement à 1m à l'aval du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 3,20m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 3,60m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 6 rondins en diamètre 16 cm



12/11/2021



20/09/2022 (+10 mois)

**Figure 35 : Evolution de la situation de la ravine en 10 mois, Socamifer**



**Figure 36 : Seuil n°2 à remplacer par un nouveau seuil à l'aval, Socamifer**

**Seuil 3** (seuil de remplacement à 1,5m à l'aval du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 3,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 6 rondins en diamètre 16 cm

Il convient de bien positionner le seuil de remplacement perpendiculairement au fil d'eau.

**Seuil 4** (seuil de remplacement à 1,5m à l'aval du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 3,40m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,50m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 7 rondins en diamètre 16 cm

Il convient de bien positionner le seuil de remplacement perpendiculairement au fil d'eau.

**Seuil 5** (seuil de remplacement à 2,5m à l'amont du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 3,50m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 3,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 7 rondins en diamètre 16 cm

Le seuil de remplacement peut être construit à l'amont du seuil en place car ce dernier est affouillé en partie basse côté droit (vu depuis l'aval) et la plage de dépôt est vide (figure 37).



**Figure 37 : Seuil n°5 à remplacer par un nouveau seuil à l'amont, Socamifer**

**Seuil 6** (effacement du déversoir) :

- enlever les 2 rangées de rondins qui constituent de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 4 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,7m soit environ 46 boutures

**Seuil 7** (seuil de remplacement à 1,0m à l'aval du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 4,60m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,80m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 6 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 8** (seuil de remplacement à 1,0m à l'aval du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 4,40m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 8 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 9** (effacement du déversoir) :

- enlever les 2 rangées de rondins qui constituent de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 6 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,1m soit environ 36 boutures

**Seuil 10** (effacement du déversoir) :

- enlever les 2 rangées de rondins qui constituent de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 6 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,4m soit environ 41 boutures

**Seuil 11** (effacement du déversoir) :

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 2,30m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,5m soit environ 43 boutures

**Seuil 12** (seuil de remplacement à 1,5m à l'amont du seuil à remplacer) :

- longueur du rondin basal : 4,30m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,80m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- hauteur du seuil : 8 rondins en diamètre 16 cm

Le seuil de remplacement peut être construit à l'amont du seuil en place car ce dernier est entièrement contourné par les écoulements à gauche (vu depuis l'aval) et la plage de dépôt est vide (figure 38).

**Seuil 13**, figure 39 (effacement du déversoir) :

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 2,30m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,0m soit environ 51 boutures

La végétalisation de ces 13 seuils en bois mort consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours.



**Figure 38 : Seuil n°12 à remplacer par un nouveau seuil à l'amont, Socamifer**



**Figure 39 : Seuil n°13 dont le déversoir doit être effacé, Socamifer**

#### 3.4.1.4.4. Vulcain

Ce site présente une ravine principale aménagée de 10 seuils en bois mort, pour lesquels la préconisation technique est l'effacement des déversoirs et la végétalisation par boutures.

La localisation de la ravine et des emplacements des ouvrages préconisés est donnée à l'annexe 8.

#### **i) Seuil en bois mort**

Les 10 seuils successifs présentent des atterrissements remplis à hauteur du rondin de seuil au déversoir. Les travaux à réaliser sont détaillés ci-après, du haut de la ravine en descendant le profil :

#### **Seuil 1 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,30m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,0m soit environ 35 boutures

#### **Seuil 2 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,90m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,3m soit environ 66 boutures

### Seuil 3 :

- enlever une rangée de rondins qui constitue de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 5 rangées de rondins ; l'enlèvement de cette rangée est indispensable afin que les eaux des crues restent dans le lit de la ravine
- à l'amont du déversoir, ajouter une rangée de rondins de longueur 1,30m
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,2m soit environ 38 boutures

### Seuil 4 :

- enlever une rangée de rondins qui constitue de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 4 rangées de rondins
- à l'amont du déversoir, ajouter une rangée de rondins de longueur 1,60m
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,7m soit environ 46 boutures

### Seuil 5 :

- à l'amont du déversoir, ajouter une rangée de rondins de longueur 1,40m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 4 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,2m soit environ 38 boutures

### Seuil 6 (figure 40) :

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,40m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 6 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place n'a pas été mesurée lors de la visite (oubli). Cela n'a aucun impact sur la suite, il conviendra d'en faire la mesure lors des travaux d'effacement du déversoir



**Figure 40 : Seuil n°6 dont le déversoir doit être effacé, Vulcain**

**Seuil 7 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,50m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 5 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 2,3m soit environ 40 boutures

**Seuil 8 :**

- enlever une rangée de rondins qui constitue de part et d'autre le déversoir, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 5 rangées de rondins ; l'enlèvement de cette rangée est indispensable afin que les eaux des crues restent dans le lit de la ravine
- à l'amont du déversoir, ajouter une rangée de rondins de longueur 1,60m
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,4m soit environ 58 boutures

**Seuil 9 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,70m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 4,2m soit environ 71 boutures

**Seuil 10 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 2,15m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 7 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,5m soit environ 60 boutures

La végétalisation de ces 10 seuils en bois mort consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours. Les trois espèces faisant l'objet de l'essai sur Socamifer sont présentes sur le site.

**ii) Fascines végétalisées**

A proximité du seuil n°10, sur une petite ravine secondaire à la ravine principale, 3 fascines en bois vivants pourraient être installées, aux emplacements où sont déjà présentes d'anciennes fascines en bois mort. Les longueurs (du bas vers le haut) de ces 3 ouvrages sont : 1,5m (enlèvement des branches en place), 2m (ajout de branches nouvelles) et 1,5m (enlèvement des branches en place).

**3.4.1.4.5. Bel Air**

Pour cette ravine préalablement aménagée de seuils en bois mort, la préconisation technique est l'effacement des déversoirs et la végétalisation par boutures.

La localisation de la ravine et des emplacements des ouvrages préconisés est donnée à l'annexe 8.

### **i) Seuil en bois mort**

Les 6 seuils successifs présentent des atterrissements remplis à hauteur du rondin de seuil au déversoir. Les travaux à réaliser sont détaillés ci-après, du bas de la ravine en remontant le profil :

#### **Seuil 1 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,30m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 4,5m soit environ 76 boutures

#### **Seuil 2 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,30m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 8 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,6m soit environ 61 boutures

#### **Seuil 3 (figure 41) :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 3,05m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 9 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 4,4m soit environ 75 boutures

#### **Seuil 4 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,50m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 6 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 3,0m soit environ 51 boutures

#### **Seuil 5 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 1,80m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 9 rangées de rondins ; les 2 rondins ajoutés seront placés de sorte que leur bord à droite soit collé au versant de la ravine (vu depuis l'aval)
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 4,5m soit environ 76 boutures



**Figure 41 : Seuil n°3 dont il convient d'effacer le déversoir, Bel Air**

#### **Seuil 6 :**

- à l'amont du déversoir, ajouter l'une sur l'autre 2 rangées de rondins de longueur 2,45m, pour obtenir un seuil à végétaliser constitué de 7 rangées de rondins
- la longueur du cordon de boutures à mettre en place est de 4,4m soit environ 75 boutures

Il n'est pas utile de mettre en place un géotextile.

En conformité avec les règles de l'art en matière de positionnement des ouvrages, la série de seuils pour stabiliser la ravine Bel Air mériterait d'être complétée par la construction de 2 seuils supplémentaires, l'un à positionner entre les seuils 3 et 4, l'autre entre les seuils 4 et 5. Nous laissons au maître d'ouvrage le soin de dimensionner ces 2 seuils, dans le même état d'esprit que les seuils déjà en place (sans les déversoirs).

La végétalisation de ces 6 seuils en bois mort consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours sachant que ni *Peripterygia marginata*, ni *Geissois pruinoso* ne sont présents dans cette région. En revanche, des individus de *G. magnifica* ont été identifiés sur les versants de la ravine.

#### **3.4.1.4.6. Olympia 1**

A l'instar du lavaka dans le Parc provincial de la rivière bleu, la ravine Olympia 1 est à aménager. Les travaux consistent à mettre en place une série de 6 seuils sur la partie basse de la ravine.

#### **i) Seuil en bois mort**

Les caractéristiques des seuils en bois mort à construire sont détaillées ci-après, du bas en remontant le profil :

**Seuil 1 :**

- longueur du rondin basal : 4,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 5,15m (dont 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 7 à 8 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 2 :**

- longueur du rondin basal : 3,70m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 5,55m (dont 2 X 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 7 à 8 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 3 (figure 42) :**

- longueur du rondin basal : 3,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 3,60m (dont 2 X 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 5 rondins en diamètre 16 cm (ne pas dépasser 90cm de haut pour ne pas « sortir » des écoulements hors du lit de la ravine)

**Seuil 4 (figure 43) :**

- longueur du rondin basal : 3,80m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 4,30m (dont 2 X 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 5 rondins en diamètre 16 cm



**Figure 42 : Emplacement du seuil n°3, Olympia 1**



**Figure 43 : Emplacement du seuil n°4, Olympia 1**

**Seuil 5 :**

- longueur du rondin basal : 3,80m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 5,30m (dont 2 X 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 5 rondins en diamètre 16 cm

**Seuil 6 :**

- longueur du rondin basal : 6,00m (dont 2 X 1m d'ancrage)
- longueur du rondin de seuil : 7,50m (dont 2 X 1m d'ancrage à gauche)
- hauteur du seuil : 5 rondins en diamètre 16 cm

Quelques autres seuils pourront être envisagés suivant le même principe de conception et positionnement dans la partie intermédiaire de la ravine Olympia 1.

La végétalisation de ces 6 seuils en bois mort consistera à mettre en place (1) un cordon de boutures au niveau du seuil, (2) des boutures de garnissage sur l'atterrissement. Concernant la palette végétale, elle sera fonction des disponibilités du moment en lien avec les résultats des recherches en cours.

Des individus de *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata* ont été identifiés dans le secteur.

*3.4.1.4.7. La Coulée*

Le versant a été aménagé de plusieurs rangées de banquettes grillagées. Des plantations inter-banquettes ont également été faites à l'époque.

La végétalisation de ces banquettes consiste à mettre en place un cordon de plants, espacés les uns des autres de 30cm et en recul de 20 cm environ du grillage.

### **i) Banquettes grillagées**

Le nombre de plants nécessaires est le suivant (banquettes numérotées du bas vers le haut du versant) :

- banquette 1, partie gauche : 3,20m de cordon, soit environ 12 plants
- banquette 1, partie droite : 3,40m de cordon, soit environ 12 plants
- banquette 2 : 11,50m de cordon, soit environ 39 plants
- banquette 3 : 16,00m de cordon, soit environ 54 plants
- banquette 4 : 13,60m de cordon, soit environ 46 plants
- banquette 5 : 13,70m de cordon, soit environ 47 plants
- banquette 6 : 8,00m de cordon, soit environ 27 plants

Le nombre de plants nécessaires est ainsi d'environ **237 unités**.

La palette végétale comprend les espèces suivantes, en privilégiant les arbustes :

*Alphitonia neocaledonica*, *Austrobuxus carunculatus*, *Cloezia artensis*, *Codia discolor*,  
*Grevillea gillivrayi*, *Gymnostoma deplancheanum*, *Metrosideros laurifolia*,  
*Peripterygia marginata*, *Sannantha leratii*, *Scaevola montana*, *Schoenus neocaledonicus*,  
*Tetralia raynaliana*.

Pour garantir la mise en place de cette diversité spécifique, le maître d'ouvrage devra passer commande au moins 24 mois avant la réalisation des travaux de sorte de laisser le temps nécessaire à l'élevage des espèces souhaitées en pépinière. Si la commande est passée avec moins d'anticipation, la diversité végétale sera liée à la réalité du moment et pourrait ainsi être réduite.

### **3.4.2. VOLET PRÉ-EXPÉRIMENTAL**

Le volet pré-expérimental préfigure une expérimentation de grande ampleur qui ne rentre pas dans le cadre du présent projet INNER-MINE. Il s'agit uniquement ici de lancer de premiers tests permettant de valider la capacité de boutures de certaines espèces végétales à émettre des rejets dans un certain contexte d'utilisation en Nouvelle-Calédonie.

Dans le cadre du programme RESCCUE mené en Nouvelle Calédonie, des tests de bouturage ont été réalisés sur la commune de Hienghène (Brinkert, 2017). Les résultats ont montré (avec un recul de 16 mois d'observations) une potentialité d'utilisation de plusieurs espèces via ce mode reproduction, faisant état de « 4 espèces présentant de bonnes potentialités au bouturage direct, développant pour la plupart suffisamment de rejets feuillés pour garantir rapidement leur survie, et deux espèces à potentiel non-nul ». Ces tests n'ont cependant pas été réalisés dans des conditions correspondant à celles du projet INNER-MINE. Ils doivent donc être complétés par d'autres tests plus adaptés.

#### **3.4.2.1. Choix des espèces à potentiel de bouturage**

##### **3.4.2.1.1. Rappel de l'état des pratiques en métropole**

Depuis plus de deux décennies, le déploiement croissant des recherches axées sur l'usage des plantes en lutte contre l'érosion a permis la découverte de nouvelles techniques notamment en situation de ravines. Leurs mises en pratique à grande échelle a nécessité de grandes quantités de matériel végétal, notamment sous forme de boutures. Dans un premier temps les boutures ont été prélevées dans les milieux naturels aux abords des chantiers ; puis les professionnels de la production végétale ont mis en place des parcelles de culture dédiées à la production des boutures et ont développé les savoir-faire utiles (Figure 44).

Aujourd'hui des dizaines de milliers de boutures de plusieurs espèces végétales sont produites annuellement. Les photos suivantes illustrent les savoir-faire maîtrisés ; elles sont extraites du site web de la société Zygène©, producteur spécialisé en semences et boutures, et concernent la production de boutures du genre Salix (Saule), du champ jusqu'à la livraison sur le chantier.



Figure 44

### **3.4.2.1.2. La démarche de présélection des espèces végétales potentielles**

La présélection présentée ci-après est établie à dire d'experts rencontrés en Nouvelle-Calédonie en novembre 2021, des observations menées à cette même période lors des visites de sites, et complétée par les données disponibles (L'Huillier et al., 2010 ; Gâteblé, 2016 ; <https://endemia.nc> ; Sarrailh, 2000).

Sur un fond de flore de Nouvelle-Calédonie extrêmement diversifié, le premier critère de sélection est la forme (le port de la plante) qui doit être compatible avec la production de boutures, telles qu'elles sont employées en métropole, à savoir à la fois :

(1) des boutures de tronçons ; il s'agit de tiges ou des branches ayant un diamètre compris entre 2 et 5 cm, une longueur d'environ 40 cm minimum ; le tronçon doit être relativement droit (forme de piquet). La « dureté » du tronçon est obligatoire ; Ce type de matériel est utilisé en cordons et garnissage.

(2) des boutures de tête ; il s'agit de tiges ou branches ayant un diamètre de moins de 2 cm et une longueur d'au moins 70 cm. Une certaine rigidité n'est pas exclue mais la souplesse du matériel est un avantage. Ce type de matériel est utilisé en fagots et fascine.

Le deuxième critère de sélection concerne la distribution géographique de l'espèce : sa présence sur les sols ultramafiques est obligatoire ; sa répartition sur l'ensemble du territoire calédonien ainsi qu'une grande amplitude altitudinale sont des avantages très importants. Effectivement, dans un premier temps au moins, les efforts porteront sur des espèces qui pourront être employées sur le plus grands nombres de sites et de situations géographiques.

Deux listes ont ainsi été constituées ; les espèces sont présentées par ordre alphabétique en Annexe 6 :

(1) liste 1 : tous les critères sont réunis (morphologie et répartition géographique) ;

(2) liste 2 : un critère ou plus, morphologique ou géographique, est manquant.

La liste 1 correspond donc aux espèces qui devraient prioritairement faire l'objet des essais utiles et nécessaires afin de valider leur aptitude à la multiplication végétative et la faisabilité de produire des boutures en nombre et qualité.

Les espèces de la liste 2 pourraient également être expérimentées au besoin (diversification de la palette végétale).

### **3.4.2.2. Description du volet pré-expérimental**

#### **3.4.2.2.1. Avant-propos**

Il s'agit du tout premier essai de mise en place de boutures en contexte ravinaire mené en conformité avec les règles de l'art établies en métropole (Rey, 2011). Il vise ainsi plusieurs objectifs, dont la faisabilité de la technique en Nouvelle-Calédonie, l'identification des adaptations utiles / obligatoires, ainsi que l'acquisition de connaissances.

Le dimensionnement de l'essai, y compris le protocole de suivi, ainsi que sa mise en place font partie intégrante du programme INNER-MINE. La réalisation du suivi (observations régulières avec prises de données), l'analyse des données collectées et leur interprétation devront faire l'objet d'une suite au programme INNER-MINE.

Pour mémoire, le succès pourra être évalué au regard de la transformation des boutures en individus autonomes, ce que l'on nomme parfois « la reprise des boutures ». Le changement de statut du matériel végétal de bouture en individu autonome est effectif sous 2 conditions, à savoir : (1) le développement d'un système racinaire au niveau de la partie enterrée de la bouture, (2) le développement puis la croissance pérenne des parties aériennes (tiges, feuilles, fleurs, semences). Physiologiquement, la bouture « contient » tout ce qu'il faut - en particulier des réserves - pour générer des rejets de tiges au niveau de la partie aérienne, en l'absence même de système racinaire fonctionnel. Ces premiers signes visibles de l'évolution de la bouture ne seront cependant pas suffisants pour conclure au succès de la « reprise des boutures » et au succès de la technique.

#### **3.4.2.2.2. Matériels et méthodes**

Tout ce qui concerne cet essai est impacté d'une manière ou d'une autre par la contrainte majeure de temps disponible, à savoir moins de 10 jours sur place pour mener à bien les étapes suivantes, tout ou partie de chacune d'elles étant interdépendantes :

- sélectionner la localisation du site expérimental, sur la base de la présélection effectuée lors de la mission de 2021,
- sélectionner les espèces végétales, sur la base des 2 listes de priorité établies à la suite de la mission de 2021,
- localiser, le plus près possible du site expérimental, des sites de prélèvements des espèces végétales, présentant des individus « source » compatibles et en quantité suffisante,
- réaliser les prélèvements des boutures,
- assurer le maintien de la qualité maximale des boutures entre le prélèvement et leur mise en œuvre sur le site expérimental,
- préparer les seuils en bois à recevoir les boutures : effacement des déversoirs et remblaiement / aplanissement des atterrissements à l'amont,
- mettre en place les boutures.

##### **a/ Site expérimental**

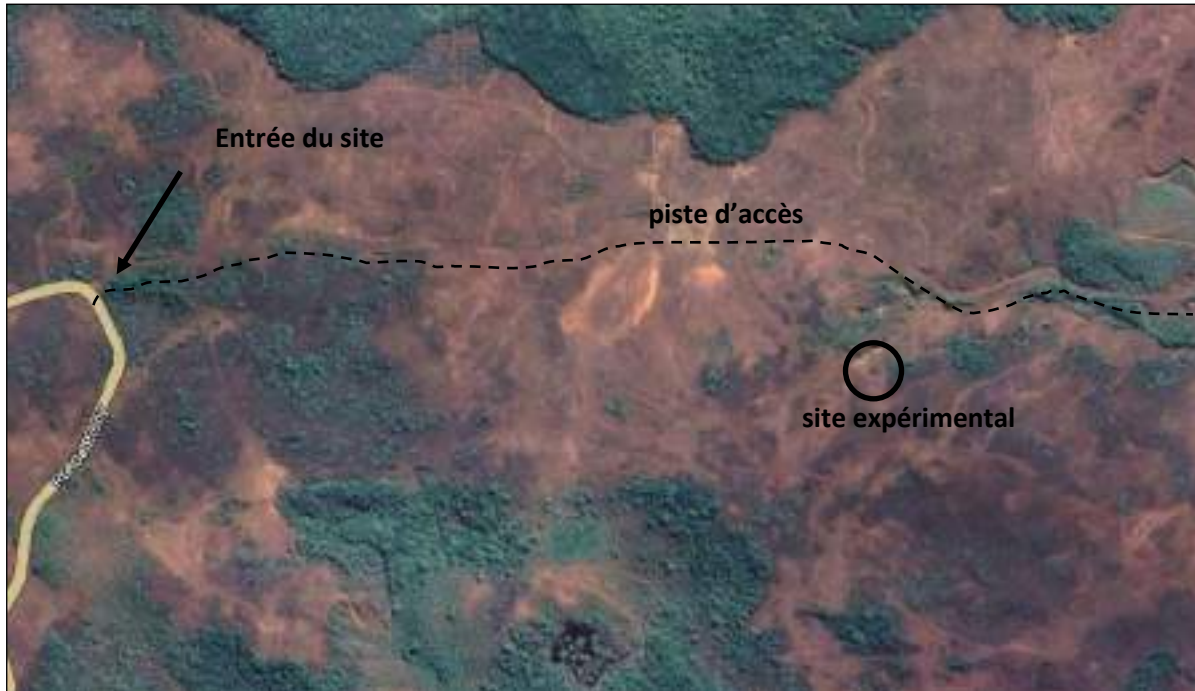
Évidemment, le site expérimental sélectionné correspond à une ravine déjà aménagée de seuils en rondins de bois dont les atterrissements sont remplis. La présélection effectuée lors de la mission de nov./déc. 2021 a permis d'identifier les sites potentiels suivants :

- ravine à Vulcain,
- ravine Bel Air
- ravines Socamifer
- ravines à La Coulée.

Le choix s'est finalement porté sur une des ravines située à Socamifer (Figure 45) pour les raisons principales suivantes :

- le sud de l'île est le territoire le plus arrosé ; l'essai est mis en place en septembre, deux mois environ avant le retour des précipitations ; la disponibilité en eau étant le facteur limitant au succès de la technique, ce choix limite le risque d'échec,
- le site Socamifer propose une grande facilité d'accès et une relative proximité avec les moyens d'action,

- le site n'est plus exploité, il n'y a aucun risque de réservation ou de réappropriation des terrains,
- la présence abondante sur le site, très proche de la ravine expérimentale, d'une des espèces végétales sélectionnées (*Grevillea gillivrayi*) et d'individus « source » compatibles ; la présence potentielle dans les milieux naturels environnants des autres espèces sélectionnées (voir paragraphe Sites de Prélèvements),,
- la ravine présente un écoulement d'eau diffus, ainsi qu'une « ambiance humide » jugée très favorable pour limiter le risque d'échec dû au manque d'eau (Figure 46).



**Figure 45 : Localisation de la ravine sélectionnée sur le site Socamifer**



**Figure 46 : Ambiance « humide » de la ravine sélectionnée pour l'essai bouture**

Certes, cette ravine présente un point de faiblesse en raison de la mauvaise qualité des bois constitutifs des seuils : les bois sont bien plus détériorés qu'ils ne le devraient (absence de traitement antifongique ?). Néanmoins, l'évolution de la dégradation constatée entre novembre 2021 et septembre 2022 (10 mois d'écart) est jugée relativement faible (figure 47) et compatible avec la durée nécessaire pour ce premier essai de boutures (12 à 24 mois). Mieux encore, en cas de succès de l'essai (nombreuses reprises des boutures et « bon » développement des individus), la mise en place du matériel végétal viendrait fortement consolider les seuils et pourrait pérenniser les travaux engagés jusqu'ici.

**b/ Matériel végétal**

***i/ Nature des espèces***

Sur la base des deux listes de priorité préalablement établies qui identifient une vingtaine d'espèces végétales présentant un potentiel pour le bouturage, 5 espèces ont été initialement retenues comme candidates pour l'essai :

- Geissois pruinosa
- Grevillea gillivrayi
- Hibiscus tiliaceus
- Oxera neriifolia
- Peripterygia marginata.



Novembre 2021

Septembre 2022

**Figure 47 : Etat des seuils bois à 10 mois d'écart (novembre 2021 – septembre 2022)**

Compte tenu du nombre de boutures déployables sur l'ensemble des seuils de la ravine, des effectifs minimum nécessaires pour les divers « traitements », 3 espèces ont été conservées dans le dispositif expérimental :

- *Geissois pruinosa*
- *Grevillea gillivrayi*
- *Peripterygia marginata*.

## ***ii/ Sites de Prélèvements***

### ***Grevillea gillivrayi***

Lors de la visite de sélection du site expérimental, de nombreux plants de *Grevillea gillivrayi*, susceptibles de « fournir » plusieurs dizaines de boutures ont été repérés sur le site Socamifer, pour certains à quelques dizaines de mètres de distance de la ravine pressentie (figure 48).

Il a ainsi été décidé que les boutures de cette espèce seraient prélevées dans cette zone.



**Figure 48 : Plant de *Grevillea gillivrayi***

### ***Geissois pruinosa et Peripterygia marginata***

Pour *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata*, les sites de prélèvements ont été pré-identifiés grâce à la base de données mise à disposition depuis 2001 sur le portail internet de l'association Endemia dont l'objet est de contribuer à la connaissance, la promotion et la valorisation de la biodiversité native (endémique et indigène) de Nouvelle-Calédonie.

Les secteurs où la présence de l'espèce est confirmée sont indiqués sur fond de carte et sont donnés pour la pointe Sud de l'île, aux figures 49 et 50 pour respectivement *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata*.



**Figure 49 : Secteurs de présence de *Geissois pruinosa* (d'après [www.endemia.nc](http://www.endemia.nc))**

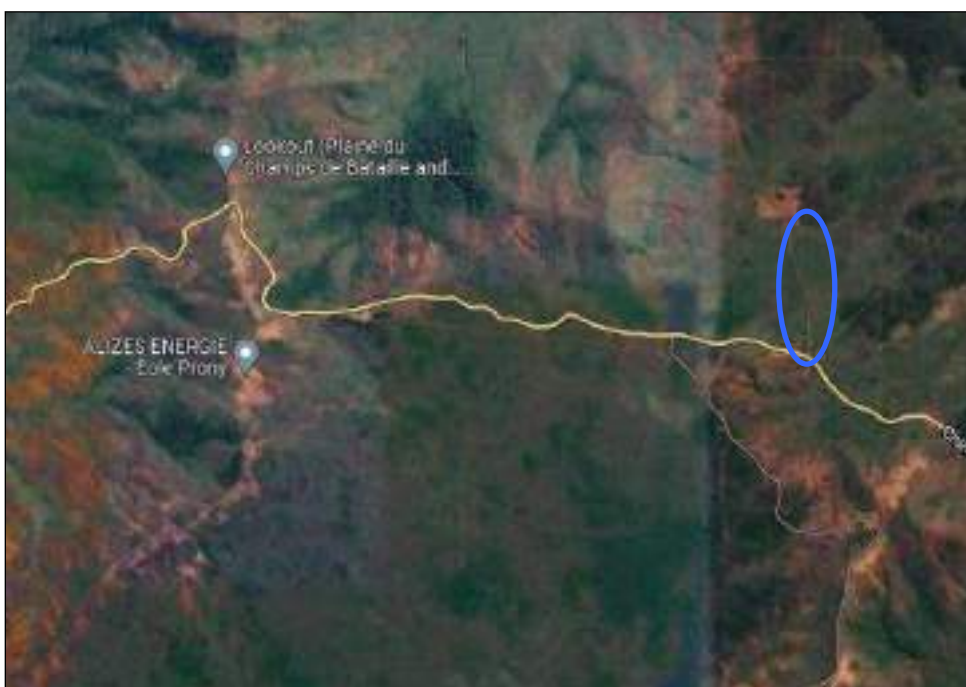


**Figure 50 : Secteurs de présence de *Peripterygia marginata* (d'après [www.endemia.nc](http://www.endemia.nc))**

Parfois, des indications plus précises de lieux sont fournies, qui après recoupement avec d'autres éléments trouvés sur le web, ont permis de cibler plus précisément les sites de prélèvement. Ils sont localisés sur les figures 51 et 52 pour *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata*.



**Figure 51 : Sites des individus « source » prélevés pour *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata***



**Figure 52 : Site des individus « source » prélevés pour *Peripterygia marginata***

Un jour environ a été consacré au repérage des individus « source » : ceux-ci ont été marqués d'un ruban de couleur et géo localisés par GPS, afin de pouvoir les retrouver plus facilement lors du prélèvement.

### **iii/ Protocole de Prélèvements**

Les tiges sont prélevées sur les individus « source » en s'assurant qu'il demeure sur place systématiquement au moins une tige pour garantir la survie de l'individu ou du groupe d'individus. Seules les tiges longiformes de 2 à 4 cm environ de diamètre sont coupées.

La coupe est effectuée à l'aide d'un ébrancheur dont le diamètre de coupe maximum est de 55 mm.

Les tiges coupées sont rassemblées, puis débitées à l'ébrancheur en boutures de 50 cm de longueur. La distance de coupe est facilitée par l'usage d'une pige (longueur conventionnelle prise pour étalon). La coupe est faite perpendiculairement à l'axe de la tige pour abimer le moins possible les tissus au niveau de la section.

Afin de conserver le sens des boutures (polarité), une petite entaille est faite du côté bas de la bouture à l'aide d'un sabre d'abattis. Les bouts de tiges dont le diamètre est inférieur à 2 cm sont ébranchés et conservés dans leur longueur (1 à 2 mètres environ) pour confectionner des fagots de « branches en bois vivant ».

Les boutures et « branches en bois vivant » sont rassemblées par paquets enlacés d'une ficelle et marqués d'un ruban de couleur ; les paquets sont disposés dans des seaux au fond desquels quelques centimètres d'eau sont présents. Jusqu'au site expérimental, les boutures et « branches en bois vivant » sont également recouvertes d'un géotextile en toile de jute humidifié.

Sur le site expérimental, dans l'attente de sa mise en place définitive, le matériel végétal est mis « en jauge », c'est-à-dire déposé verticalement en respectant la polarité haut/bas, le côté bas dans l'eau présente au fond d'une ravine située à proximité du site expérimental. Les paquets de boutures sont recouverts du géotextile coco humidifié.

L'annexe 7 illustre en images les principales étapes du protocole de prélèvement.

Quelle que soit l'espèce considérée, le prélèvement a pu être possible après obtention de l'ajout de ces espèces sur l'autorisation de collecte de la Province sud le 19 septembre 2002 délivrée à l'Université de la Nouvelle-Calédonie n°3159-2021/ARR/DDDT.

### **c/ Mise en place de l'essai**

#### **i/ Période**

La période de mise en place de l'essai en septembre ne semble pas complètement optimum au regard du régime climatique, puisque (hors influence de La Niña plus marquée ces dernières années), il reste encore 2 mois environ avant le retour des précipitations.

Concernant le bon état physiologique du matériel végétal à cette période, les données manquent pour être affirmatif et l'essai renseignera sur ce point. Pour rappel, les règles de l'art établies en métropole, fixent la « fabrication / préparation » des boutures à la fin de la période de repos végétatif (mars/avril), le stockage du matériel végétal quelques temps en chambre froide étant possible.

Pour mémoire, l'installation principale de l'essai s'est passée du 28 au 30 septembre. Faute de temps avant la fin de la mission pour pouvoir prélever et mettre en place les boutures de *Grevillea gillivrayi* (seuils 1 et 8), celles-ci l'ont été avec une dizaine de jours de décalage, les 10 et 11 octobre par l'entreprise SIRAS Pacifique. L'impact de ce décalage entre les traitements est considéré comme minime.

## **ii/ Nombre d'ouvrages**

Les seuils en rondins de bois morts sont numérotés de 1 à 10, à partir du bas de la ravine.

Le seuil 9 étant trop dégradé, il a été décidé de le laisser en l'état, sans même intervenir pour effacer son déversoir.

Tous les autres ouvrages ont été végétalisés suivant la même démarche :

- effacement du déversoir
- implantation de boutures en un cordon linéaire le long du seuil
- Implantation de 5 boutures sur l'atterrissement

## **iii/ Préparation des ouvrages : effacement des déversoirs**

Comme détaillé par ailleurs dans ce rapport, la mise en place des boutures n'est possible qu'en situation de seuil horizontal et linéaire. Les déversoirs, qui entaillent parfois les seuils d'une hauteur allant parfois jusqu'à 3 rangés de rondins, ont donc été obligatoirement « effacés ».

En fonction des diverses situations rencontrées dans la ravine expérimentale, notamment la possibilité de pouvoir constituer un atterrissement aplani (quantité suffisante de sédiments et temps disponible) et avec l'objectif systématique de conserver la plus haute altitude possible des seuils (garantissant la plus grande quantité de sédiments piégés à l'amont des seuils ainsi que la plus grande divagation des crues et donc leur moindre impact érosif), 3 procédés d'effacement des déversoirs ont été établis.

### **Procédé 1**

L'effacement consiste à **retirer tous les rondins** qui constituent de part et d'autre le déversoir. Il a été mis en œuvre pour le seuil 2 (figure 53) et le seuil 8.



situation initiale



situation après effacement (les rondins restants en place sont plus visibles à l'annexe 7.2)

**Figure 53 : Procédé n°1 d'effacement du déversoir (seuil 2)**

## Procédé 2

Comme pour le procédé n°1, l'effacement consiste à **retirer tous les rondins** qui constituent de part et d'autre le déversoir et **ensuite ajouter une rangée supplémentaire de rondins par-dessus la** dernière rangée constituant le seuil. Suivant la largeur de la ravine, 2 rondins sont parfois nécessaires, ils sont alors « mariés », c'est-à-dire rendus solidaires entre eux grâce à l'accrochage d'un cavalier en fer à béton en position horizontale. Cette rangée supplémentaire est également rendue solidaire au seuil en place grâce à des fers à béton plantés verticalement ; de part et d'autre de la ravine, l'enfoncement des bois neufs dans les versants de la ravine est réalisé tel que pratiqué habituellement.

Ce procédé est appliqué lorsqu'il y a suffisamment de sédiments stockés à l'amont du seuil pour pouvoir constituer un atterrissement à fleur du seuil sur au moins 3 mètres de recul à l'amont. Ce procédé a été mis en œuvre pour les seuils 1 (figure 54), 3 et 4.



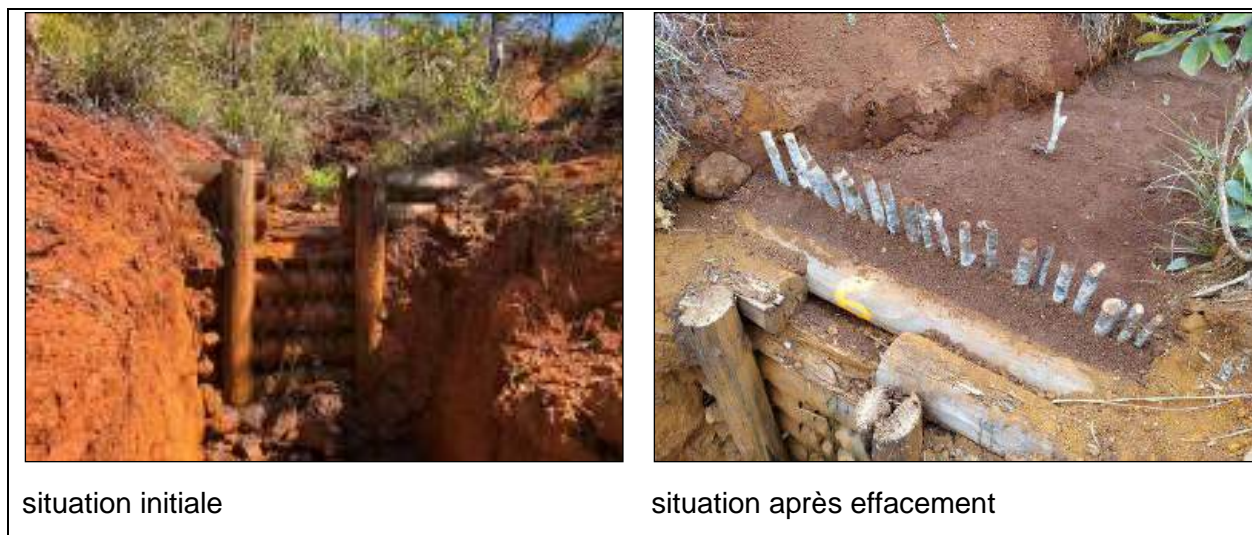
**Figure 54 : Procédé n°2 d'effacement du déversoir (seuil 1)**

## Procédé 3

L'effacement du déversoir est réalisé en retirant une partie seulement des rondins qui constituent de part et d'autre le déversoir (une ou deux rangées), et en ne laissant qu'une rangée en place. L'ouverture est « effacée » en ajoutant un (ou des) de rondin(s) à l'amont de la dernière rangée constituant le seuil.

La rangée supplémentaire est réglée au même niveau altimétrique que celui des rondins restés en place en s'appuyant sur les sédiments présents. Lorsque la largeur de la ravine est inférieure à 2 mètres, la rangée supplémentaire est de la longueur totale de la ravine, sinon le rondin est dimensionné de sorte qu'il dépasse de 30 cm environ de part et d'autre des 2 rondins verticaux support du seuil. Le nouveau rondin est solidarisé avec le reste du seuil grâce à des fers à béton plantés horizontalement.

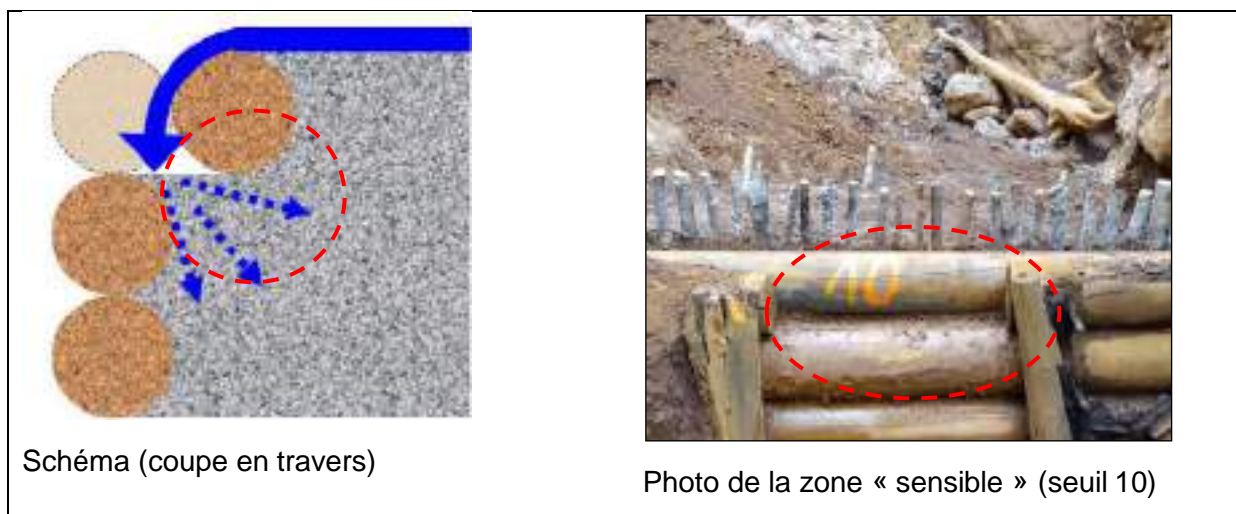
Comme dans le cas du procédé n°2, cette troisième façon de faire est appliquée lorsqu'il y a suffisamment de sédiments stockés à l'amont du seuil pour pouvoir constituer un atterrissement à fleur du seuil sur au moins 3 mètres de recul à l'amont et que la dernière rangée initiale de rondins n'est pas jugée trop dégradée. Ce procédé a été mis en œuvre pour les seuils 5, 6 (figure 55), 7 et 10.



**Figure 55 : Procédé n°3 d'effacement du déversoir (seuil 6)**

### **Adaptation constructive au procédé 3**

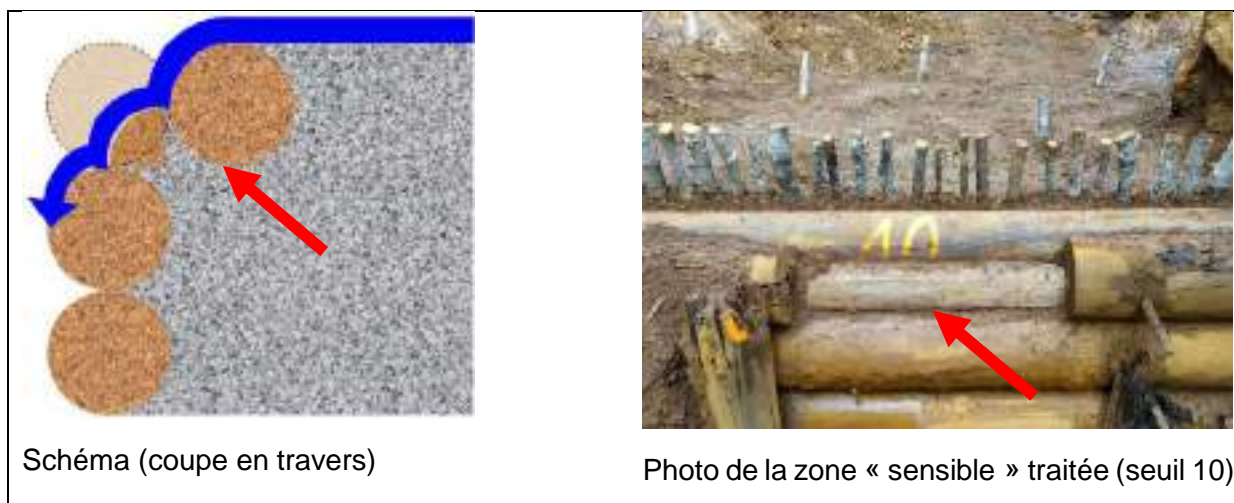
L'effacement des déversoirs par le procédé n°3 a créé une zone particulière au niveau de laquelle une potentielle sensibilité érosive accrue a été identifiée lors des travaux : la zone derrière le rondin ajouté (côté aval) où les écoulements (préférentiellement de faible débit) pourraient passer sous le rondin ajouté (figure 56) et générer un affouillement des matériaux à l'avant du seuil en bois.



**Figure 56 : Zone de sensibilité potentielle à l'affouillement**

Afin d'envoyer un maximum d'eau à l'extérieur du seuil, la préconisation constructive proposée sur place a été la mise en place d'un quart de rondin sur toute la largeur de l'ouverture (ex déversoir), de même section que les rondins constitutifs du seuil, tapés au marteau après avoir rempli les interstices de sédiments (figure 57) ; ce quart de rondin est maintenu en place avec des cavaliers métalliques.

Cette adaptation constructive a été mise en œuvre sur les 4 seuils 5, 6, 7 et 10.



**Figure 57 : Préconisation constructive**

#### ***iv/ Traitements***

##### **Répartition**

Compte tenu du nombre de seuils disponibles (9), du nombre d'espèces (3) et d'intrants (2) à tester, et du fait que l'on n'installe **qu'une seule espèce végétale par ouvrage**, la répartition des espèces ainsi que la quantité de boutures installées par seuils sont données dans le tableau 5 ci-après.

**Tableau 5 : Répartition des espèces végétales et quantités de boutures installées par seuil**

Numéro du seuil	Nom de l'espèce végétale	Nombre de boutures		
		cordon de seuil	garnissage	TOTAL
10	<i>Peripterygia marginata</i>	31	5	<b>36</b>
8	<i>Grevillea gillivrayi</i>	32	5	<b>37</b>
7	<i>Geissois pruinosa</i>	36	5	<b>41</b>
6	<i>Peripterygia marginata</i>	20	5	<b>25</b>
5	<i>Peripterygia marginata</i>	45	5	<b>50</b>
4	<i>Geissois pruinosa</i>	41	5	<b>46</b>
3	<i>Geissois pruinosa</i>	44	5	<b>49</b>
2	<i>Peripterygia marginata</i>	37	5	<b>42</b>
1	<i>Grevillea gillivrayi</i>	49	5	<b>54</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>335</b>	<b>45</b>	<b>380</b>

### **Méthode d'implantation des boutures**

Pour les boutures témoin (sans intrant), la méthode d'implantation est la suivante : le cordon linéaire est positionné en recul (vers l'amont) d'environ 5 cm du rondin de seuil ; les boutures sont espacées tous les 6 cm mesurés entre 2 boutures d'axe à axe (une pige en bois a été préparée, figure 58) ; après avoir ouvert un trou à la barre à mine, les boutures sont enfoncées dans le terrain de 30 cm (elles dépassent ainsi de 20cm) et sont légèrement inclinées vers l'aval. De part et d'autre du cordon, quelques boutures peuvent parfois être positionnées en léger arc de cercle vers l'amont jusqu'au bord du talus de la ravine, afin de compenser le rehaussement du niveau dur du terrain du fait du rapprochement avec le talus de la ravine (figure 59).



**Figure 58 : La pige étalon pour positionner les boutures tous les 6 cm**      **Figure 59 : Bord du cordon en arc de cercle**

Dans l'atterrissement, 5 boutures supplémentaires sont disposées « au hasard » mais néanmoins de sorte de pouvoir ultérieurement venir dégager une motte autour de chaque bouture et mener des observations de la partie enterrée des boutures (figure 60). Ces boutures, dites « de garnissage », sont légèrement inclinées vers l'amont. Une fois toutes les boutures implantées, la planéité de l'atterrissement est réalisée à l'aide d'un râteau ; cette dernière étape est particulièrement importante pour que le prochain écoulement ne trouve pas de zone de concentration des eaux et puisse être le plus diffus possible sur l'ensemble de la surface.

Les effectifs des témoins sont :

- pour *Geissois pruinosa* : 44 boutures sur le seuil 3
- pour *Grevillea gillivrayi* : 49 boutures sur le seuil 9
- pour *Peripterygia marginata* : 37 boutures sur le seuil 2.



**Figure 60 : Boutures de garnissage inclinées vers l'amont et atterrissement aplani (seuil 5)**

Cette méthode d'implantation a été adaptée lorsqu'un intrant a été ajouté, principalement en ce qui concerne la préparation du terrain ; dans ce cas en effet, le trou de plantation préalablement ouvert à la barre à mine n'étant plus opportun, une tranchée lui a été préférée (voir ci-après).

#### **v/ Intrants**

Afin d'augmenter la probabilité de succès de reprise des boutures, deux intrants sont intégrés au protocole :

- une hormone d'enracinement, pour tenter de favoriser la formation de racines au niveau de la partie enterrée des boutures,
- un inoculant mycorhizien, pour tenter d'améliorer le développement ultérieur des plants devenus autonomes.

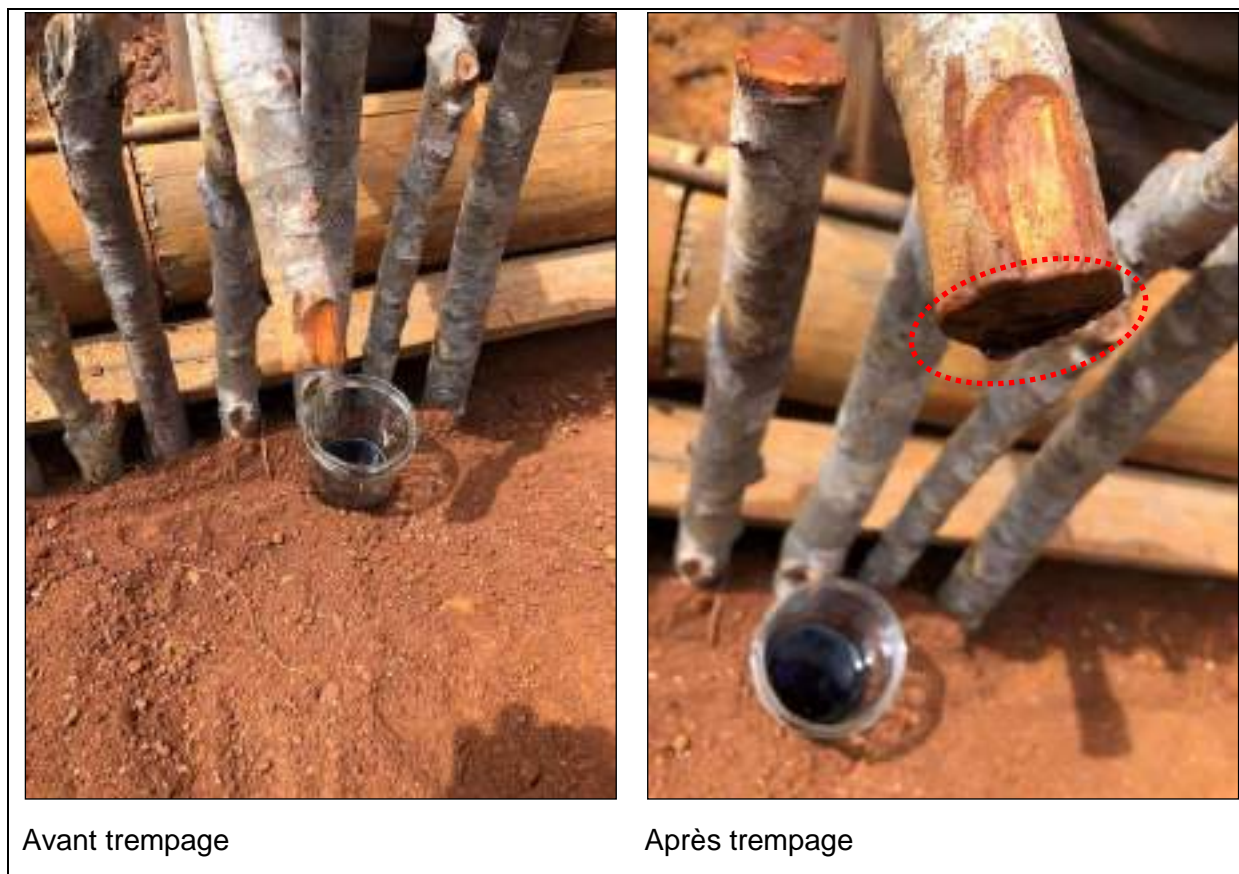
#### **Hormone d'enracinement**

Il s'agit de l'acide indolylbutyrique dosé à 3g/litre et qui se présente sous forme d'un gel (marque commerciale CLONEX), dont un des usages autorisés est la rhizogénèse en transplantation de plants et boutures.

Le mode opératoire spécifique est le suivant : la base de la bouture est mise en contact avec le produit par trempage dans un pot contenant l'hormone d'enracinement, en vérifiant que toute la section coupée de la bouture est recouverte de produit (figure 61). La bouture est ensuite installée à son emplacement, parfois enfoncée dans le terrain de quelques centimètres lorsque la tranchée n'a pas été préalablement totalement ouverte sur 30 cm de profondeur (hauteur mesurée par rapport à l'altitude finale de l'atterrissement).

Les effectifs sont :

- pour *Geissois pruinosa* : 41 boutures sur le seuil 4
- pour *Peripterygia marginata* : 20 boutures sur le seuil 6 + 45 boutures sur le seuil 5 (également traitées avec apport conjoint de l'inoculum mycorhizien)



**Figure 61 : Mise en place de l'hormone de bouturage à la base d'une bouture**

### **Inoculant mycorhizien**

Il s'agit d'une association complémentaire de micro-organismes (champignons mycorhiziens à arbuscules, mycéliums intra et extra racinaires et fragments de racines mycorhizées), spécifiquement développée par la société néo-calédonienne Aurapacifica, et commercialisée sous la marque RHIZOTOP, pour un usage de restauration écologique des sols dégradés ou pollués de Nouvelle-Calédonie.

Le mode opératoire est le suivant : au fond de la tranchée préalablement ouverte jusqu'à 30 cm de profondeur (hauteur mesurée par rapport à l'altitude finale de l'atterrissement), la position de la bouture est « pointée » en tapant la bouture ; l'inoculant mycorhizien est ensuite versé à l'emplacement marqué à raison de 2 dosettes, soit 10 g (soit environ 16000 propagules) conformément à la préconisation du fabricant spécifiquement établie pour cet essai ; la bouture est ensuite positionnée en attente du remblaiement (figure 62).

Les effectifs sont :

- pour *Geissois pruinoso* : 36 boutures sur le seuil 7
- pour *Peripterygia marginata* : 31 boutures sur le seuil 10 + 45 boutures sur le seuil 5 (également traitées avec apport conjoint d'hormone d'enracinement)



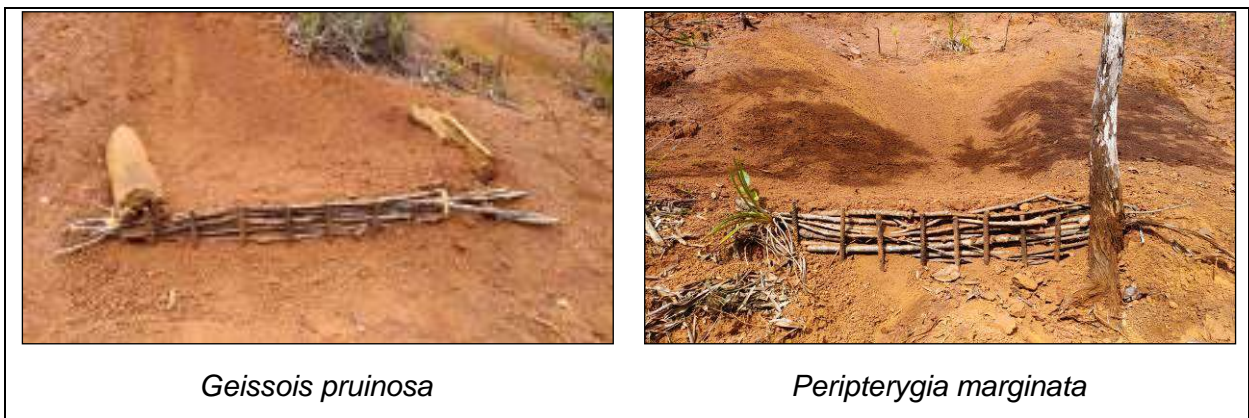
**Figure 62 : Mise en place de l'inoculant mycorhizien à la base des boutures**

#### **vi/ Autres expérimentations**

Dans l'objectif de compléter les connaissances relatives à la capacité de multiplication végétative des espèces sélectionnées, quelques installations supplémentaires ont été menées ; elles doivent être considérées comme « à la marge » du dispositif boutures mais pourront peut-être livrer quelques informations utiles.

#### **Fascines de boutures**

Pour chacune des 2 espèces *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata*, une fascine de boutures (en branches de bois vivant) a été réalisée (figure 63).



*Geissois pruinosa*

*Peripterygia marginata*

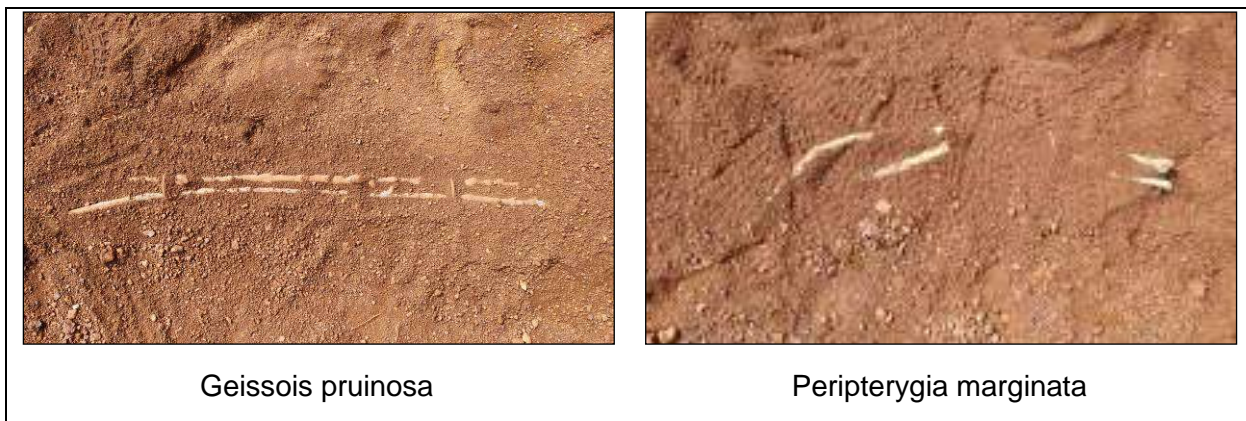
**Figure 63 : Fascines de boutures**

A l'instar de la technique de bouturage, la technique du fascinage repose également sur l'aptitude des branches (bois vivant, récemment coupé à partir d'un individu « source ») à former des rejets, au contact du terrain ; il convient donc de créer un seuil en branches et de remplir l'espace constitué à l'amont du seuil par des sédiments fins du terrain. Dans le cas présent, les branches utilisées sont d'un seul tenant d'environ 2 mètres de long et d'un diamètre inférieur à 2 cm ; les fascines sont maintenues en place grâce à des fers à béton récupérés dans les bois qui ont été enlevés lors de l'effacement des déversoirs dans les seuils. La fascine de boutures de *Geissois pruinosa* est située à proximité du seuil 3, celle de *Peripterygia marginata* est située à proximité du seuil 2, toutes les deux positionnées en situation de pied de versant pour ne pas être soumises à une pression d'érosion trop importante tout en bénéficiant d'un apport d'eau suffisant.

### **Couches de boutures (ou couches de branches à rejets)**

Pour chacune des 2 espèces *Geissois pruinosa* et *Peripterygia marginata*, deux boutures (branches en bois vivant) ont été posées sur le terrain, et maintenues en place à l'aide de cavalier en fer à béton (figure 64).

C'est une autre technique utilisée en génie végétal qui s'appuie encore sur l'aptitude à la multiplication végétative du végétal, à partir de branches fraîchement coupées (boutures).



**Figure 64 : Couche de boutures (ou couche de branches à rejets)**

Les boutures, de mêmes caractéristiques que celles qui constituent les fascines, sont installées sur l'atterrissement du seuil 3 à environ 5 mètres en recul du seuil, légèrement sur la droite (vue depuis l'aval) sur un léger bombement de l'atterrissement, afin de ne pas être ensevelies trop profondément.

#### **3.4.2.2.3. Premiers résultats**

Bien entendu, cet essai livrera ses résultats à l'issue des analyses et interprétations des observations et données collectées dans le temps (voir chapitre 4. Suivi scientifique). Quelques informations tirées de la préparation et de la mise en place de l'essai méritent néanmoins d'être consignées dans ce rapport.

##### **a/ Quantités estimatives de boutures**

L'analyse des écarts entre la prévision des travaux à effectuer et la réalisation permet d'enregistrer l'enseignement suivant : les quantités utiles de boutures destinées aux cordons de seuil, estimées à partir des linéaires préalablement mesurés sur le terrain, ont été systématiquement supérieures aux quantités réellement mises en place, en moyenne sur les 9 seuils de 18% environ (de 8,60% à 27,5%).

## b/ Temps de réalisation

Une fois les déversoirs effacés, le temps pour implanter les boutures en cordons de seuil pour les seuils 2, 3, 5 et 10 a été mesuré.

Le seuil 2 est le tout premier ouvrage sur lequel les travaux ont été engagés et les méthodes d'intervention validées, par conséquent le temps mesuré de 90 minutes pour implanter les 49 boutures en cordon (soit 51 minutes pour 1 mètre linéaire de cordon) n'est pas représentatif.

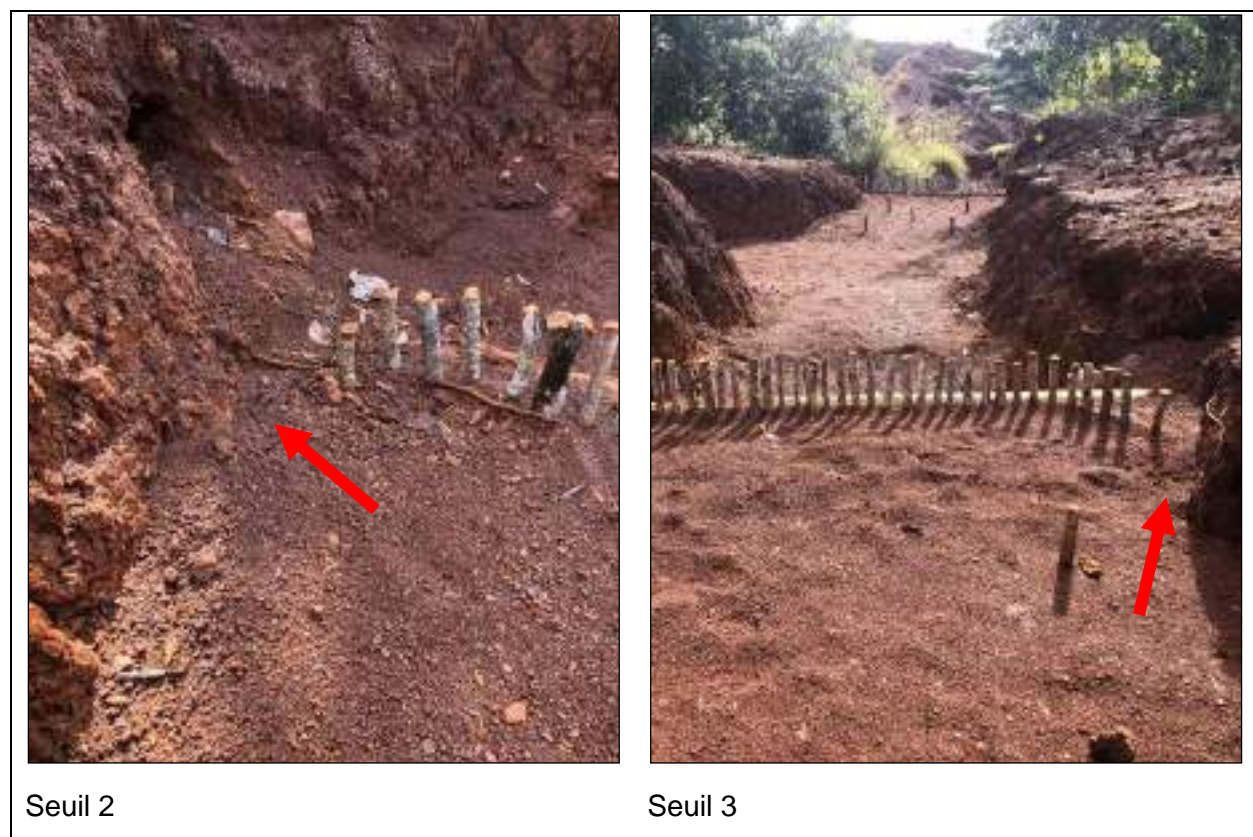
Pour les 3 autres seuils, le temps d'intervention pour implanter les boutures est relativement homogène, avec une moyenne de 24 minutes pour 1 mètre linéaire de cordon (écart type de 3 minutes). Ce résultat est particulièrement intéressant car il permettra d'estimer le temps passé pour les futurs chantiers.

## c/ Observations à 4 semaines

Lors d'un rapide passage sur le site expérimental pour prise de photos la dernière semaine d'octobre, soit 4 semaines après la mise en place de l'essai (pour 7 des 9 seuils), les deux principales observations suivantes peuvent être consignées.

Concernant l'érosion, du fait de précipitations, des écoulements ont eu lieu sur l'ensemble de la ravine ; on peut observer :

- qu'il n'y a aucun impact érosif visible des écoulements pour le moment, notamment sur les bords des seuils (figure 65),
- le démarrage de l'effet « peigne » du cordon de bouture (figure 66).

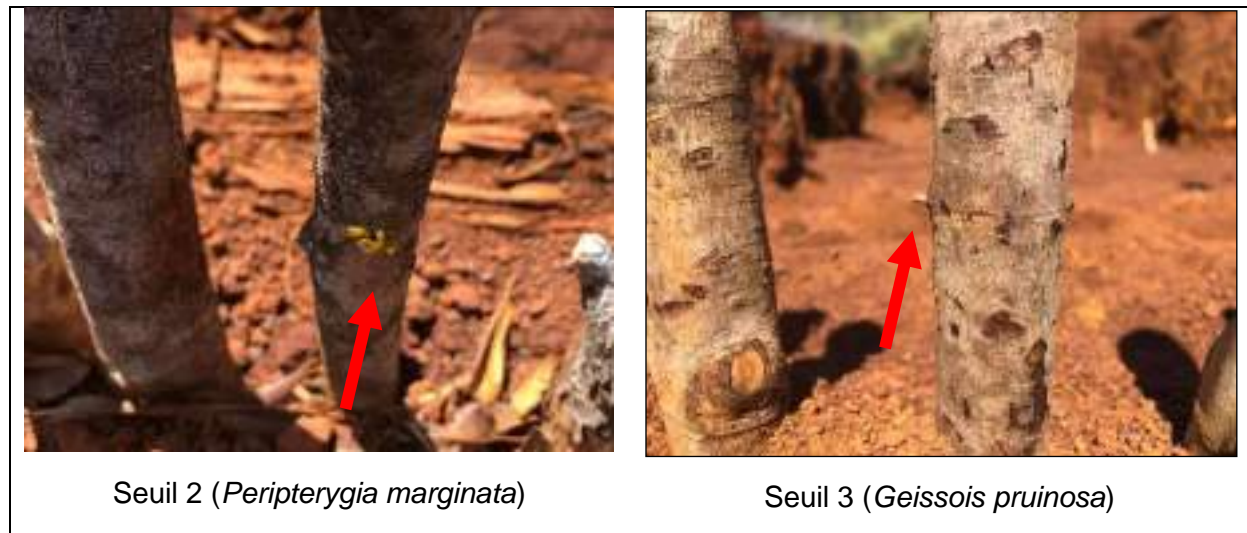


**Figure 65 : Pas d'érosion sur les bords des seuils**



**Figure 66 : L'effet « peigne » du cordon de boutures (seuil 2)**

Concernant le matériel végétal, plusieurs boutures montrent des rejets (stade bourgeonnement) qui témoignent de la capacité des boutures à rejeter et confirme le choix judicieux de cette première sélection d'espèces (figure 67). Le nombre de boutures avec rejets est de 26 et la répartition est la suivante : seuil 2 (6), seuil 3(7), seuil 4 (1), seuil 6 (4), seuil 7 (4), seuil 10 (4).



**Figure 67 : Premiers bourgeonnements sur les boutures**

### 3.4.2.2.4. Suivi scientifique

En relation avec les choix techniques retenus et l'organisation globale de l'essai qui en découle, le suivi de l'essai a pour objectifs de :

- quantifier le niveau de capacité du matériel végétal testé sous forme de bouture à produire des individus autonomes ; il sera alors possible de pouvoir définitivement sélectionner les espèces ayant les meilleures aptitudes en la matière,
- caractériser la vigueur de reprise des individus autonomes, afin pouvoir améliorer les connaissances, valider la technique et contribuer au dimensionnement de la mise en route d'une filière de production.

Le repérage des boutures est le suivante : en commençant par le seuil 1, un numéro est attribué à chaque bouture du cordon linéaire, de la gauche vers la droite (en regardant depuis l'aval) ; le repérage des 5 boutures supplémentaires en garnissage de l'atterrissement est ensuite effectué de la même manière en se déplaçant vers le haut si besoin. La numérotation se poursuit ensuite pour le seuil suivant situé à l'amont. Le tableau 6 donne les repères de numérotation pour l'ensemble des 380 boutures qui constituent le dispositif expérimental.

**Tableau 6 : Numérotation des 380 boutures de l'essai (D : Droite ; G : Gauche)**

numéro du seuil	Numéro des boutures			
	Cordon linéaire de seuil		Garnissage de l'atterrissement	
	1ère bouture (à G)	dernière bouture (à D)	1ère bouture (à G à l'aval)	5ème bouture (à D à l'amont)
10	345	375	376	380
8	308	339	340	344
7	267	302	303	307
6	242	261	262	266
5	192	236	237	241
4	146	186	187	191
3	97	140	141	145
2	55	91	92	96
1	1	49	50	54

#### a/ Taux de reprise / taux de mortalité

La première information utile est la connaissance du nombre de boutures qui ont la capacité de générer des individus autonomes, ce qui est avéré par le développement de structures aériennes (tiges, feuilles, fleurs) et sous-terraines (racines).

Pour chacune des 380 boutures, il sera donc observé si des rejets (issus de bourgeons axillaires) sont présents : la donnée est qualitative : OUI / NON.

La prise de donnée est menée à chacune des visites jusqu'au douzième mois (septembre 2023) après la mise en place. En effet, il convient d'attendre un an afin d'être assuré que les rejets sont bien révélateurs de la transformation de la bouture en individu autonome ; les travaux menés en métropole ont effectivement montré qu'une partie des boutures peut générer des rejets aériens mais n'enracinent pas et finissent donc par mourir (elles sont comptabilisées comme ayant repris en début de suivi, puis comptabilisées mortes en fin d'essai).

Le rapport entre le nombre d'individus autonomes et le nombre de boutures mises en place donne le **taux de reprise**. Le **taux de mortalité** est le rapport entre le nombre de boutures non reprises et le nombre de boutures mises en place.

### **b/ Vigueur de la reprise et taux de multiplication**

Pour chaque bouture lorsque des formations aériennes sont identifiées (rejets de tige), leur nombre est comptabilisé (donnée quantitative) ; il participe à la caractérisation du taux de multiplication.

La longueur des rejets (depuis l'insertion du rejet sur la bouture jusqu'au sommet du rejet) est mesurée (donnée quantitative en cm) et participe également à la caractérisation du taux de multiplication. La mesure est effectuée à partir du moment où la longueur du rejet est supérieure à 1 cm. A ce stade, il n'apparaît pas indispensable d'être en capacité de suivre l'élongation de chaque rejet et ainsi de devoir mettre en place un marquage adéquat : le suivi de la croissance se fera à l'échelle de la bouture (longueur totale des rejets et longueur moyenne).

Connaître et pouvoir caractériser ce taux de multiplication est très important dans la perspective de la mise en route d'une production de boutures, celle-ci étant incontournable et totalement indispensable au développement de cette technique du génie végétal en Nouvelle-Calédonie.

En outre, il apparaît intéressant de pouvoir connaître s'il y a un lien entre la vigueur des boutures et leur « dimension », identifiée par leur longueur fixe de 50 cm (+ ou - 0.5 cm) pour toutes les boutures et leur diamètre variable de 2 à 4 cm environ. Pour chacune des 380 boutures, le diamètre sera ainsi mesuré au pied à coulisse à environ 10 cm au dessus du terrain (donnée quantitative en mm).

### **c/ Enracinement**

Les 45 boutures implantées dans la zone d'atterrissage permettront d'observer ce qu'il se passe au niveau de la partie enterrée de la bouture et de confirmer le développement des racines (données qualitative : OUI / NON).

Suffisamment espacées les unes des autres, les boutures pourront être déterrées avec précaution à la pelle, puis remises en place après observation. Le suivi dans le temps de cette donnée (voir tableau 7) ne sera possible que si les boutures sont remises en place après chaque observation. Peut-être conviendra t-il de stopper le suivi si le développement racinaire est important.

### **d/ Fréquence des observations**

Beaucoup de paramètres étant nouveaux dans cet essai (climat, espèces, sols), les fréquences d'observations et de prises de données en tiennent compte en relation avec les connaissances du moment (acquises par ailleurs) et les toutes premières observations faites lors d'un passage sur le site expérimental fin octobre 2022 (+1 mois pour 7 des 9 seuils).

Le tableau 7 rassemble l'ensemble du calendrier d'observation. Afin de respecter des durées « fixes » entre les observations, celles-ci devront être menées au cours de la dernière semaine du bois concerné.

**Tableau 7 : Calendrier des observations de l'essai**

		janv-23 + 4 mois	mars-23 + 6 mois	juin-23 + 9 mois	sept-23 + 12 mois
toutes les boutures	diamètre	x	x	x	x
toutes les boutures	présence d'au moins 1 rejet	oui	oui	oui	oui
toutes les boutures	quantification du nombre de rejet	oui	oui	oui	oui
toutes les boutures	mesure de la longueur des rejets	oui	oui	oui	oui
toutes les boutures	état physiologique	oui	oui	oui	oui
les 45 boutures de garnissage	présence de racines	oui	oui	x	oui

Bien entendu, le suivi de cet essai pourra avantageusement être poursuivi au-delà des 12 premiers mois, suivant un protocole qui devra alors être précisé en fonction de la nature des observations faites et des résultats obtenus à ce moment.

#### **e/ Cas particuliers des autres expérimentations**

Les 2 fascines en bois vivant et les 2 couches de (deux) branches à rejets seront observées lors de chaque visite afin de détecter le démarrage des rejets et, le cas échéant, leur développement. Le suivi est ici plutôt qualitatif mais quelques données (nombres et longueurs des rejets) pourront éventuellement être consignés suivant la situation.

#### **f/ Autres observations qualitatives**

A chaque visite, l'intégrité des seuils et des cordons, notamment les points sensibles de part et d'autre des seuils, sera surveillée. Tout désordre érosif sera consigné.

#### **g/ Suivi photographique**

A chaque visite et pour chaque seuil, 2 photos d'ensemble seront systématiquement prises et de préférence depuis le même point d'observation ; cela permettra de compléter le suivi photographique de l'essai, initié à l'issue des travaux et donné en annexe 7 :

- une vue de tout l'ouvrage depuis l'aval,
- une vue de toutes les boutures de garnissage, depuis l'amont, éventuellement depuis le côté ou l'amont,

Autant de clichés spécifiques que de besoin pourront être faits pour conserver l'historique de l'essai, notamment en ce qui concerne le matériel végétal (pourquoi ne pas suivre quelques boutures particulières pour chacune des 3 espèces végétales...).

#### **h/ Analyse et interprétation des données**

La connaissance de la pluviométrie du site est indispensable : il convient d'obtenir les précipitations journalières, à partir de début septembre 2022 et pendant toute la durée du suivi de l'essai, à partir d'un poste météo avec une position géographique la plus proche et représentative possible du site expérimental.

Le poste météorologique de l'usine Prony Ressources située à 9,45 km au sud-est de la ravine apparaît la plus appropriée et permet d'obtenir les données utiles (figure 68).

# SYNTHESE CLIMATOLOGIQUE D'UN MOIS

Mois d'octobre 2022

GORO\_USINE (988)

Indicatif : 98817104, alt : 159 m., lat : 22°20'22"S, lon : 166°54'34"E

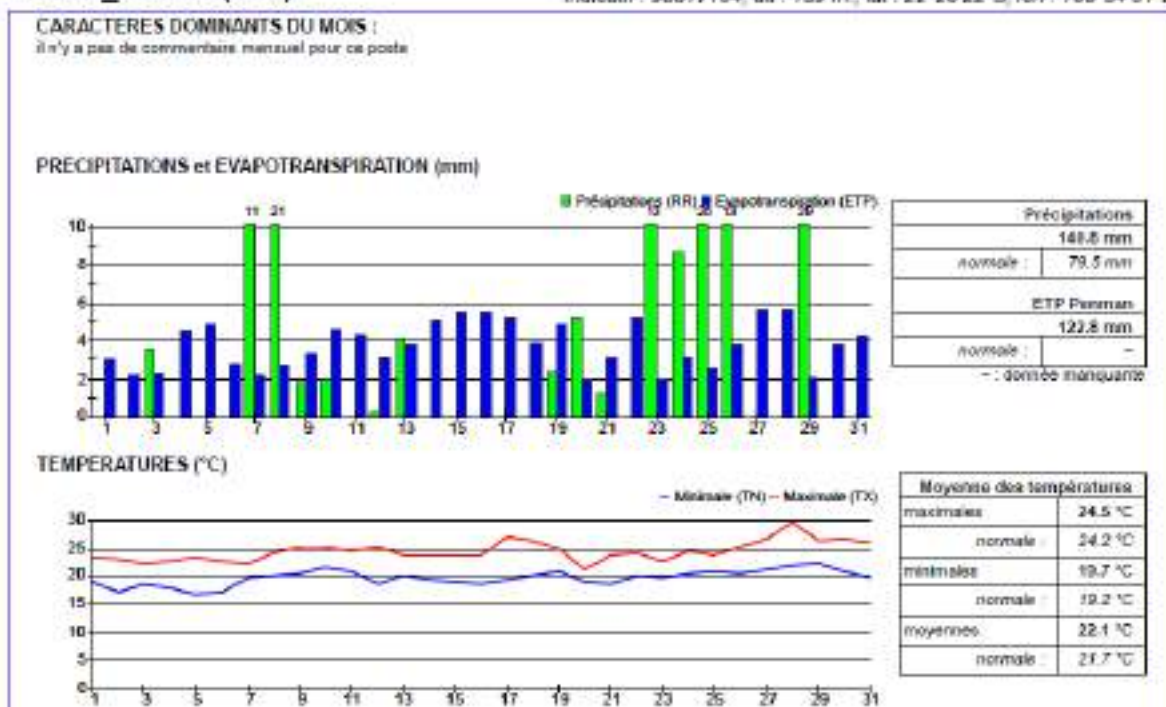


Figure 68 : Extrait de la synthèse climatologique du mois d'octobre 2022 ; poste Météo France à l'usine de Goro

Si les taux de reprise et de mortalité sont obtenus par un calcul simple (proportion entre 2 nombres), leur interprétation devra notamment s'appuyer sur les résultats connus, principalement obtenus en métropole.

L'interprétation des résultats des taux de multiplication et de la caractérisation de la vigueur des boutures par espèce n'aura aucun point de référence et devra être posée dans le cadre de la faisabilité d'une mise en production, en comparant dans le temps la productivité projetée et les besoins.

S'agissant de la caractérisation de l'impact des intrants (hormone de bouturage et mycorhizes), les effectifs par traitement et par espèces apparaissent suffisants pour mener l'analyse dans le cadre d'une comparaison de moyennes (tests statistiques ANOVA).

### **3.5. RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE DES OUVRAGES**

Un référentiel technique des ouvrages est exposé dans les pages suivantes. Chacune des techniques est présentée de manière succincte, *via* un descriptif technique et, pour les ouvrages inertes, des informations pour leur végétalisation.

Les éléments décrits dans ce référentiel s'appuient sur l'expertise des partenaires du projet, mais aussi sur les guides et les référentiels existants, qui ont, le cas échéant, été adaptés et complétés pour leur adéquation au contexte de la restauration minière en contexte ravinaire en Nouvelle-Calédonie.

Les fiches de présentation sont illustrées par des photos originales issues des missions du projet.

### **3.5.1. GARNISSAGE DE PLANTS (OU PLANTATION EN PLEIN)**



***Garnissage de plants (ou plantation en plein) (photo : F. Rey)***

#### Descriptif :

Le garnissage de plants (ou plantation en plein) consiste à la mise en terre de plants, avec leur système racinaire, dans de simples fentes ou des potets. La densité de plantation est très variable et est fonction notamment des exigences de l'espèce plantée : la fourchette va généralement de 1 000 à 5 000 plants/ha.

Les plants sont installés directement sur le sol, soit sans remodeler la topographie, ou sur d'autres ouvrages de support comme les seuils en bois, les banquettes grillagées, les cordons de pierres ou les fascines.

### 3.5.2. CORDON DE PLANTS



*Cordons de plants (photo : F. Rey)*

#### Descriptif :

Le cordon de plants est une rangée de plants, disposés en courbe de niveau, environ tous les 3 m sur la pente, et formant de petites haies continues ou discontinues.

Les plants sont mis en terre avec leur système racinaire, dans de simples fentes ou des potets. La densité de plantation est très variable et est fonction notamment des exigences de l'espèce plantée : la fourchette va généralement de 1 à 2 plants par mètre linéaire.

Les plants sont généralement installés sur d'autres ouvrages de support comme les seuils en bois, les banquettes grillagées, les cordons de pierres ou les fascines de branchages. Ils peuvent aussi être installés directement sur le sol sans remodeler la topographie.

### **3.5.3. GARNISSAGE DE BOUTURES**



***Garnissage de boutures (photo : F. Rey)***

#### **Descriptif :**

Le garnissage de boutures est un tapis de boutures disposées soit sur un atterrissement dans le lit de la ravine, ou directement au sol dans d'autres configurations.

Les boutures ont une longueur d'environ 50 cm et un diamètre compris entre 2 et 4 cm.

La méthode d'implantation des boutures est la suivante : après avoir ouvert un trou à la barre à mine, les boutures sont enfoncées dans le terrain de 30 cm (20 cm dépassent).

Les boutures sont généralement installées verticalement. Lorsqu'elles sont disposées sur un atterrissement dans le lit de la ravine, elles sont légèrement inclinées vers l'amont, et de manière spatialement homogène sur l'atterrissement.

### 3.5.4. CORDON DE BOUTURES



*Cordon de boutures (photo : Y. Crosaz)*

#### Descriptif :

Le cordon de boutures est un alignement de boutures disposées soit le long d'un seuil, ou directement au sol dans d'autres configurations.

Les boutures ont une longueur d'environ 50 cm et un diamètre compris entre 2 et 4 cm.

La méthode d'implantation des boutures est la suivante : après avoir ouvert un trou à la barre à mine, les boutures sont enfoncées dans le terrain de 30 cm (20 cm dépassent). En cas d'ajout d'éventuel(s) intrant(s) (hormone d'enracinement, mycorhizes), le creusement préalable d'une tranchée pourrait être plus adapté.

Les boutures sont généralement installées verticalement. Lorsqu'elles sont disposées sur un cordon le long du seuil, elles sont légèrement inclinées vers l'aval. Le cordon linéaire est placé en recul (vers l'amont) d'environ 5 cm du rondin de seuil. Les boutures sont espacées tous les 6 cm mesurés entre 2 boutures d'axe à axe (à l'aide d'une pige en bois). De part et d'autre du cordon, quelques boutures peuvent parfois être positionnées en léger arc de cercle vers l'amont jusqu'au bord du talus de la ravine, afin de compenser le rehaussement du niveau dur du terrain du fait du rapprochement avec le talus de la ravine.



*La pige étalon pour positionner les boutures tous les 6 cm*



*Bord du cordon en arc de cercle*

### **3.5.6. COUCHE DE BOUTURES (OU COUCHE DE BRANCHES À REJETS)**



***Couche de boutures (ou couche de branches à rejets) (photo : Y. Crosaz)***

#### **Descriptif :**

La couche de boutures (ou couche de branche à rejets) est un tapis de boutures installées couchées sur le sol et recouvertes quasi-intégralement de matériaux terreux.

Les boutures ont des longueurs et des diamètres qui peuvent être très variables.

Elles sont posées sur le terrain et maintenues en place à l'aide de cavalier en fer à béton.

Elles peuvent être installées sur un atterrissement de seuil, jusqu'à plusieurs mètres en recul du seuil.

### 3.5.7. FASCINE DE BRANCHAGES



*Fascine de branchages (photo : SIRAS)*

#### Descriptif :

Une fascine de branchages est une petite barrière constituée de pieux morts, derrière lesquels des branchages sont empilés sous forme de fagots. Les ouvrages sont disposés en courbe de niveau. Leur hauteur peut aller jusqu'à 50 cm. Ils doivent être positionnés sur tout le long des versants.

Les piquets peuvent être du bois inerte mais dur, ou parfois des boutures, d'un diamètre supérieur à 5 cm et de longueur comprise entre 1 et 1,5 m. Ils sont taillés en biseau à une des extrémités. Ils sont soit disposés dans des trous creusés à la barre à mine, soit plantés au coup de masse, tous les 0,5 à 1 mètre, par la face taillée en biseau, par enfoncement d'environ 50 cm.

Les branchages utilisés sont d'un seul tenant d'environ 2 mètres de long et d'un diamètre inférieur à 2 cm.

Pour les fagots, les branchages sont liés ensemble avec de la corde, environ tous les mètres, de façon à obtenir des fagots de 20 à 40 cm de diamètre et de 2 à 4 m de longueur. 3 à 5 fagots sont disposés contre les piquets.

#### Végétalisation :

Les plants sont le seul type de matériel végétal adapté à la végétalisation des fascines de branchages. Ils sont mis en place en cordon sur les petits atterrissements de matériaux fins constitués à l'amont des fascines.

### 3.5.8. FASCINE DE BOUTURES



*Fascine de boutures (photo : Y. Crosaz)*

#### Descriptif :

Une fascine de boutures est une petite barrière constituée de pieux, vivants ou morts, derrière lesquels des boutures sont empilées sous forme de fagots. Les ouvrages sont disposés en courbe de niveau. Leur hauteur peut aller jusqu'à 50 cm. Ils peuvent être positionnés préférentiellement en situation de pied de versant pour ne pas être soumises à une pression d'érosion trop importante tout en bénéficiant d'un apport d'eau suffisant.

Les piquets peuvent être des boutures ou bien du bois inerte mais dur, d'un diamètre supérieur à 5 cm et de longueur comprise entre 1 et 1,5 m. Ils sont taillés en biseau à une des extrémités (base de la bouture dans le sens de la sève montante). Ils sont soit disposés dans des trous creusés à la barre à mine, soit plantés au coup de masse, tous les 0,5 à 1 mètre, par la face taillée en biseau, par enfoncement d'environ 50 cm.

Les fascines de boutures doivent être constituées de branches ou de fagots de branche en bois vivant : les branches doivent ainsi avoir été coupées des individus « source » depuis moins de 48 heures et conservées dans les meilleures conditions possibles (bases des branches placées dans de l'eau, branches couvertes de bâches humides).

Pour les fagots, les boutures sont liées ensemble avec de la corde, environ tous les mètres, de façon à obtenir des fagots de 20 à 40 cm de diamètre et de 2 à 4 m de longueur. 3 à 5 fagots sont disposés contre les piquets, et la base des boutures est enfoncée dans le talus

#### Végétalisation :

La fascine de bouture permet elle-même la végétalisation du site. Elle peut toutefois être végétalisée de manière complémentaire sur son atterrissement. Les plants sont alors le seul type de matériel végétal adapté à la végétalisation des fascines. Ils sont mis en place en cordon sur les petits atterrissements de matériaux fins constitués à l'amont des fascines.

### 3.5.9. CORDON DE PIERRES



*Cordons de pierres (photo : SIRAS)*

#### Descriptif :

Un cordon de pierres est un alignement de pierres, de 40 à 50 cm de hauteur, disposé en courbes de niveau.

#### Végétalisation :

Les plants sont le seul type de matériel végétal adapté à la configuration « cordon de pierres ».

La végétalisation de ces cordons consiste à mettre en place un cordon de plants, espacés les uns des autres de 25 à 30 cm et en recul de 20 cm environ du mur de pierre.

La plantation s'effectue sur les cordons de pierres au coup de pioche ou dans des potets. Les plants sont placés au centre du cordon, en une ligne continue. On peut également végétaliser les inter-cordons ou le pied des cordons.

### 3.5.10. BANQUETTE GRILLAGÉE



*Banquettes grillagées (photo : F. Rey)*

#### Descriptif :

Une banquette grillagée est un soutènement léger de 40 à 50 cm de hauteur, avec alignement de jambes de force verticales haubanées sur lesquelles est appuyé un grillage métallique de soutien (doublé éventuellement d'un grillage de rétention à mailles fines), replié vers l'amont à la base pour former un bas-volet.

#### Végétalisation :

Les plants sont le seul type de matériel végétal adapté à la configuration « banquettes ».

La végétalisation de ces banquettes consiste à mettre en place un cordon de plants, espacés les uns des autres de 25 à 30 cm et en recul de 20 cm environ du grillage.

La plantation s'effectue sur les banquettes au coup de pioche ou dans les potets. Les plants sont placés en une ligne continue. On peut également végétaliser les inter-banquettes ou le pied des banquettes.

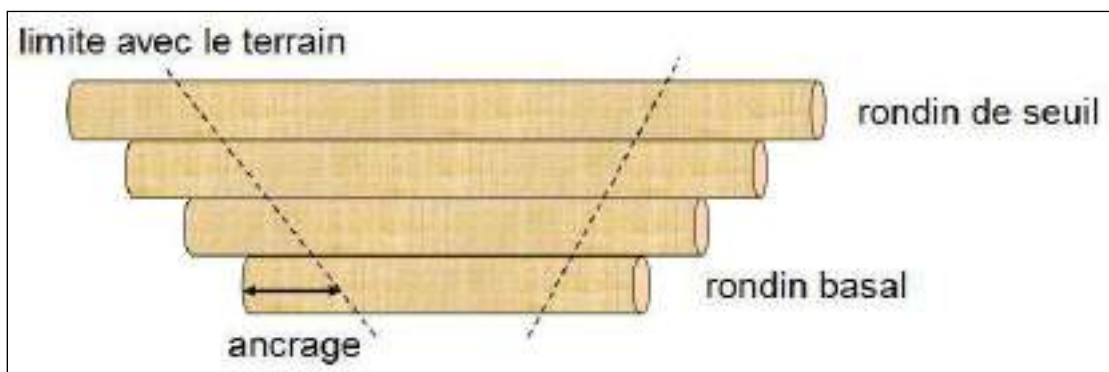
### 3.5.11. SEUIL EN BOIS (PAROI SIMPLE) (SANS DÉVERSOIR)



*Seuil en bois (à simple paroi et sans déversoir) (photo : Y. Crosaz)*

#### Construction du seuil

Le schéma de principe de construction d'un seuil en bois est donné à la figure ci-dessous : le seuil est constitué d'un empilement de rondins en bois mort, traité anti pourrissement, d'un diamètre généralement de 16 cm (éventuellement 18 cm) et de longueur variable et ajustée à la morphologie du profil en travers de la ravine. Les bois sont ancrés de part et d'autre d'un mètre environ dans le terrain des versants. La longueur de la partie ancrée pourra être diminuée jusqu'à 50 cm environ pour des ouvrages dont la sollicitation lors des crues est de moindre importance et présentent alors des dimensions « modestes » : longueur du rondin de seuil inférieure à 1,5m ou hauteur du seuil inférieure à 70cm.

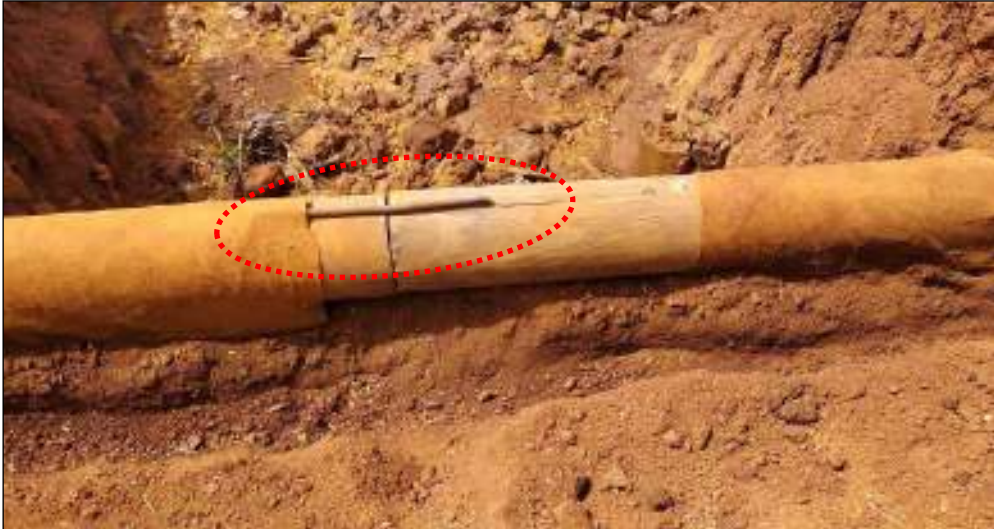


*Schéma de principe d'un seuil en bois mort à végétaliser*

Les rondins sont solidarités verticalement 2 par 2 par des fers à béton, régulièrement espacés. Si transversalement, 2 rondins sont nécessaires (leur longueur unitaire varie de 2 à 4 mètres), ceux-ci sont aboutés et la jonction est consolidée à l'aide d'une agrafe métallique en U aplati (figure suivante).

Les descriptifs techniques à renseigner pour leur conception sont :

- le nombre total de rondins à empiler (en fonction de leur diamètre),
- la longueur du rondin basal, y compris les parties gauche et droite ancrées dans le terrain, généralement estimées à 1m, ou moins suivant la dimension du seuil,
- la longueur du rondin de seuil, y compris les parties gauche et droite ancrées dans le terrain, généralement estimées à 1m, ou moins suivant la dimension du seuil

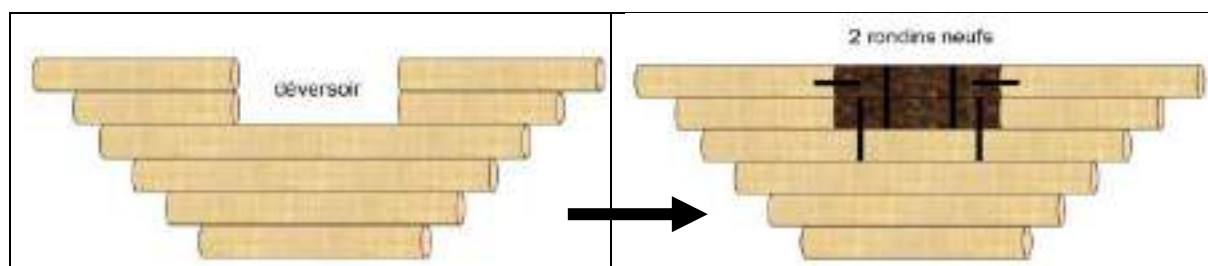


***« Agrafe de mariage » en U de 2 rondins dans le sens transversal***

### Adaptation d'ouvrages existants par suppression des déversoirs

Au sujet de l'effacement des déversoirs, 3 procédés ont été mis en œuvre sur le dispositif expérimental à Socamifer, en fonction de la configuration rencontrée. Les prescriptions techniques établies ci-après reprennent l'un ou l'autre de ces procédés, mais néanmoins sans avoir le retour de l'essai en cours, uniquement du fait de la validation *in situ* de la faisabilité de la mise en œuvre de ces procédés. En outre, les toutes premières constatations faites lors de cette mise en œuvre « expérimentale » questionne sur un autre procédé possible dans le cas où il décidé de conserver tous les rondins en place (majorité des cas à venir) : l'effacement des rondins pourrait effectivement être fait en insérant dans le vide des déversoirs, l'exacte longueur des bois nécessaires. La fixation pourrait être assurée par des fers à béton transversaux et des agrafes de mariage fixées de chaque côté des bois rajoutés, du côté amont. La figure ci-dessous donne le schéma de principe de ce procédé.

Ce procédé présente l'avantage (1) de ne pas générer un enjeu érosif supplémentaire au niveau du déversoir effacé et (2) de conserver la possibilité d'implanter un cordon **linéaire** de boutures. Ce procédé mériterait d'être expérimenté sur plusieurs seuils, pour valider la résistance aux crues des bois rajoutés, pendant la durée nécessaire au remplissage complet de l'atterrissement.



**Schéma de principe d'un autre procédé d'effacement du déversoir, à expérimenter (en noir les fer à béton d'assemblage)**

### 3.5.12. SEUIL EN BOIS (PAROI SIMPLE) VÉGÉTALISÉ (SANS DÉVERSOIR)



**Seuil en bois (à simple paroi et sans déversoir) végétalisé (photo : Y. Crosaz)**

Le « seuil en bois mort végétalisé » est une des techniques du génie végétal ; elle est mise en œuvre dans les situations de ravines qui présentent un profil en long dont la pente maximale ne dépasse pas 40% (22 degrés d'angle) et dont les écoulements peuvent être fréquents mais jamais réguliers. Ses objectifs sont l'arrêt :

- de l'incision du terrain en fond de ravine (érosion régressive),
- de l'exportation des sédiments érodés en sortie de ravine.

Cette technique consiste en trois étapes.

**Étape 1** : installer, dans le fond de la ravine, une succession de barrages (appelés « seuils ») positionnés perpendiculairement au sens d'écoulement ; ces barrages sont constitués d'un empilement de rondins en bois mort (constituants abiotiques) et bien ancrés sur les 2 côtés de la ravine. Le positionnement et la hauteur des seuils dépendent du profil en long, généralement pas plus de 1,50 mètres de haut ;

**Étape 2** : laisser les seuils « se remplir », c'est-à-dire, attendre que les sédiments qui sont transportés par les écoulements lors des crues se déposent à l'amont des seuils (on parle de « plages de dépôts »). Pour faire divaguer le plus possible les écoulements à chacun des seuils rencontrés et retenir ainsi le maximum de matériaux, la crête du seuil (rondin supérieur) est la plus large possible et va donc d'un versant à l'autre versant ; outre l'aspect quantitatif de sédiments retenus dans la ravine, maximaliser les dépôts vise également à offrir des conditions optimales d'implantation et de vie pour les végétaux qui seront mis en place (voir 3<sup>ème</sup> et dernière étape de la technique, indissociable des 2 premières) ;



**Seuil en bois (Ouest de la France)**

**Etape 3** : installer des plantes (constituants biotiques) sur les atterrissements formés à l'amont des seuils. Toute la « philosophie » de la technique réside dans le fait de créer des conditions de vie propices à l'implantation et au développement des végétaux là où il n'y en a pas.

Le seul type de matériel végétal adapté à cette situation correspond à la bouture (partie de tige en bois dur, momentanément en vie ralentie, voir chapitre spécifique) ; ce type de matériel végétal est le seul suffisamment résistant notamment à l'arrachement par les écoulements, alors que le plant, composé de racines et de tige(s) ne l'est pas.

La technicité mise au point jusqu'à aujourd'hui consiste à mettre en place les boutures en 2 endroits spécifiques, de 2 manières différentes et avec des fonctions attendues également différentes.



Photo avr. 2016 (Ouest de la France)



Photo avr. 2016 (Ouest de la France)

***Végétalisation des seuils en bois***

**En cordon**, le long de la crête du seuil, ces boutures sont les premières installées ; une fois reprises (c'est-à-dire en ayant développé des racines et des tiges secondaires), elles ont pour objectifs (1) de renforcer le seuil à court terme puis de le pérenniser définitivement, (2) de créer une « hauteur » supplémentaire d'obstacle aux écoulements (20 à 30 centimètres) afin de retenir des volumes de sédiments supplémentaires à l'amont du seuil dans la plage de dépôts.



Photo déc. 2016 (Ouest de la France)



Photo juin. 2008 (Sud de la France)

### ***Cordons et garnissages de boutures***

**En garnissage** de la plage de dépôts ; ces boutures sont généralement installées une fois que les boutures en cordon ont repris, principalement pour limiter la concurrence pour l'eau et les nutriments mais aussi du fait de l'exhaussement du niveau de l'atterrissement.

En quelques années, le fond de la ravine est entièrement végétalisée, d'une végétation dont la densité va jouer un rôle de peigne vis-à-vis des matériaux érodés en suspension dans les écoulements ; les écoulements qui ne peuvent plus prendre de vitesse, divaguent au maximum sur les différents atterrissements successifs et déposent ainsi leurs matériaux sur place... la ravine ne produit plus de sédiment, elle est « définitivement » stabilisée.

## 4. BIBLIOGRAPHIE

- Adam P., Debiais N., Gerber F., Lachat B. 2008. *Le génie végétal : un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*. La documentation française, 290 p.
- Adam P., Debiais N., Malavoi JR. 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eaux. Agence de l'eau Seine-Normandie.
- Amir H, Fogliani B, Gensous S, Durrieu G, L'Huillier L, Saintpierre D, Lagrange A, Reck A, et Gaillard T. 2018. Analyse et synthèse des expérimentations et actions de restauration écologique réalisées sur sites miniers en Nouvelle-Calédonie depuis 30 ans : Rapport final du projet Recosynth, septembre 2018. Rapport CNRT « Nickel & son environnement », CNRT/UNC/IAC/SIRAS-Pacifique/Bota-Environnement, 291p.
- 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 LC, Bonis ML, Montarges-Pelletier E, Maggia L, et Wulff A. 2015. Caractérisation et fonctionnement du système sol/plante/microorganismes dans les maquis miniers. Perspectives d'application à la restauration écologique. Rapport final - Projet ECOMINE BIOTOP - CNRT "Nickel & son environnement", 315p.
- Anso, J. 2016. Maintien à long terme des communautés d'insectes forestiers dans un contexte de changement global : Réponses écologiques des communautés d'Orthoptères dans une succession forestière et face à la progression d'espèces invasives.. Thèse de Doctorat « Biologie des populations et écologie », Université de la Nouvelle-Calédonie, Nouméa, 430 p
- Anso, J., Barrabé, L., Desutter Grandcolas, L., Jourdan, H., Grandcolas, P., JiaJia, L. , Robillard, T. 2016a. Old lineage on an old island: Pixibinthus, a new cricket genus endemic to New Caledonia shed light on Gryllid diversification in a hotspot of biodiversity. Plos One 11(3): e0150920.
- Anso, J., Jourdan, H., Desutter Grandcolas, L. 2016b. Crickets (Insecta, Orthoptera, Grylloidea) from Southern New Caledonia, with descriptions of new taxa; Zootaxa 4124(1):1.
- Bartley R, Poesen J, Wilkinson S, Vanmaercke M (2020) A review of the magnitude and response times for sediment yield reductions following the rehabilitation of gullied landscapes. Earth Surface Processes and Landforms. Sous presse.
- Blight O., Orgeas J., Le Menn A., Quilichini A., Provost E. 2018. Interaction between a threatened endemic plant (*Anchusa crispera*) and the invasive Argentine ant (*Linepithema humile*). Arthropod-Plant Interactions. <https://doi.org/10.1007/s11829-018-9619-8>
- Bordez L., Fogliani B., L'Huillier L., Amir H. 2018. Guide sur l'utilisation des topsoils en restauration écologique des terrains miniers de Nouvelle-Calédonie. Programme CNRT Biotop. In press
- Brinkert M. 2017. Essai de bouturage de barrières végétalisées. Résultats finaux. RESCCUE, 11 p.
- Bulot A., Provost E., Dutoit T. 2016. Refuse pile turnover by harvester ants (Hymenoptera: Formicidae) increases seed density and seedling species richness in dry grasslands. Myrmecological News 23, 91-100.
- Burylo M, Dutoit T, Rey F (2014) Species traits as practical tools for ecological restoration of marly eroded lands. Restoration Ecology 22: 633-640.
- Castillo C, Gómez JA (2016) A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. Earth-Science Reviews 160: 300-319.
- Cateine, M. 2017. La myrmécochorie en Nouvelle-Calédonie : importance du contexte et impact des fourmis introduites sur ce service. Thèse de Doctorat « Biologie des populations et écologie », Université de la Nouvelle-Calédonie, Nouméa, 202p.
- Chalopin. 2016. FLORICAL: Checklist of the vascular indigenous flora of New Caledonia. vers. 22.IV.2016. <http://www.botanique.nc/herbier/florical>

- Chocat B. (coord.). 2013. Principes, fondements et historique de l'ingénierie écologique pour les milieux aquatiques. In B. Chocat (coord.), *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ?* ASTEE, pp. 12-29.
- Clewell AF., Aronson J. 2010. *La Restauration écologique. Principes, valeurs et structure d'une profession émergente.* Actes Sud, Arles, 352 p.
- Clewell AF., Aronson J. 2013. *Ecological Restoration, Second Edition. Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession.* Island Press, Washington, USA.
- Comin F.A. 2010. *Ecological Restoration: A Global Challenge*, xxv + 291 pp., Cambridge University Press, Cambridge
- Crosaz Y., Rey F., Huyghe G., Cassotti F., De Matos M., Dehaye J.M., Cadiere F., Bert V. 2014. Règles professionnelles. *Travaux de génie végétal.* Paris : UNEP-AGÉBio, 32 p.
- Dasnias P. 2002. *Aménagement écologique des carrières en eau.* Comité National de la Charte Professionnelle de l'Industrie des Granulats.
- David, G., M. Leopold, et al. (2010). "Integrated coastal zone management perspectives to ensure the sustainability of coral reefs in New Caledonia." *Marine Pollution Bulletin* 61(7): 323-334.
- Dutoit T. 2012. Espoirs et limites de l'ingénierie écologique. *Le Courrier de la Nature*, 270 : 22-29.
- Dutoit T. 2013a. Ingénierie écologique : un outil pour le développement durable. pp. 286-287. In : Euzen A., Eymard L. & Gaill F (eds). « Le développement durable à découvert ». CNRS Editions, Paris. 363 p.
- Dutoit T. 2013b. S'aider du vivant pour restaurer les écosystèmes. *Pour la Science*, 427 : 17-18.
- Dutoit T. 2014. Restauration écologique : quelles recherches mener pour agir non seulement pour, mais aussi par le vivant ? pp. 83-97. In Rey F., Gosselin F., Dore A. (eds) « Ingénierie écologique : Action par et/ou pour le vivant ? » Quae Editions, Paris, 166 p.
- Dutoit T. 2015. Génie écologique: Des outils au service d'une approche globale de la gestion des espaces naturels. *Espaces Naturels*, Encart de 4 pages, N°49 janvier-mars 2015.
- Dutoit T., Buisson E., Mesleard F, 2014. L'écologie de la restauration a 80 ans ! Espoirs et limites d'une discipline scientifique controversée. pp. 167-176. In Gauthier-Clerc M., Mesleard F. & Blondel J. (eds). « Sciences de la Conservation ». De Boeck éditions, Paris, 346 p.
- Elliott SD., Blakesley D., Hardwick K., 2013. *Restoring tropical forests: a practical guide.* Royal Botanic Gardens, Kew; 344 p
- Fogliani B., Amir H., Gensous S. L'Huillier L., Durieux G. 2018. *Guide technique : la restauration écologique des terrains miniers de Nouvelle-Calédonie.* Programme CNRT Recosynth. In press
- Frankl A, Nyssen J, Vanmaercke M, Poesen J (en prép.). *Gully prevention and control: techniques, failures and effectiveness.* *Earth Surface Processes and landforms.*
- Fritsch E (2012) *Les sols.* In: Bonvallot J, Gay J-C, Habert E (eds) *Atlas de la Nouvelle-Calédonie.* IRD Editions, Nouméa, pp 73–76
- Gallart F, Marignani M, Pérez-Gallego N, Santi E, Maccherini S (2013) *Thirty years of studies on badlands, from physical to vegetational approaches: A succinct review.* *Catena* 106: 4-11.
- Garcin, M., Baills, A., Le Cozannet, G., Bulteau, T., Auboin, A.L., Sauter, J. 2013. *Pluri-decadal impact of mining activities on coastline mobility of estuaries of New Caledonia (South Pacific).* *Journal of Coastal Research: Special Issue 65 - International Coastal Symposium Volume 1: 494 – 499*
- Gasc, A., Anso, J., Sueur, J., Jourdan, H., Desutter Grandcolas, L. 2018. *Cricket calling communities as an indicator of the invasive ant *Wasmannia auropunctata* in an insular biodiversity hotspot.* *Biological invasions* 20(5): 1099-1111

- Giret A. 1993. Fonctionnement hydrologique des altérites et des sols sur le glacier de Mauges (exemple du bassin de l'Hyrome en Maine-et-Loire). In: Quaternaire, vol. 4, n°2-3, pp. 111-118 Lien : [https://www.persee.fr/doc/quate\\_1142-2904\\_1993\\_num\\_4\\_2\\_2000](https://www.persee.fr/doc/quate_1142-2904_1993_num_4_2_2000)
- Gomez C., Mangeas M., Curt T., Ibanez T., Munzinger J., Dumas P., Jérémy A., Despinoy M., Hély C. 2015. Wildfire risk for main vegetation units in a biodiversity hotspot: modeling approach in New Caledonia, South Pacific. *Ecology and Evolution*, vol. 5, pp. 377-390.
- Grandcolas, P., Murienne, J., Robillard, T., Desutter-Grandcolas, L., Jourdan, H., Guilbert, E. & Deharveng, L. 2008. New Caledonia: a very old Darwinian island? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 363, 3309-3317
- Ibanez T. 2012. Dynamiques des forêts denses humides et des savanes en réponse aux incendies en Nouvelle-Calédonie. Thèse de l'Université Aix-Marseille, 326 p.
- Isnard, S., L'huillier, L., Rigault, F., & Jaffré, T. (2016). How did the ultramafic soils shape the flora of the New Caledonian hotspot?. *Plant and soil*, 403(1-2), 53-76.
- Jaffré T. 1993. The relationship between ecological diversity and floristic diversity in New Caledonia. *Biodiversity letters* 82-87.
- Jaffré T., Bouchet P., Veillon J.-M. 1998. Threatened plants of New Caledonia: Is the system of protected areas adequate? *Biodiversity & Conservation*, vol. 7, pp. 109-135.
- Jaffré T., Latham M., Schmid M. 1977. Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle-Calédonie. *Cah ORSTOM Sér Biol* 12, 307-321.
- Jaffré T., Rigault F., Dagostini G., Tinel-Fambart J., Wulff A., Munzinger J. 2009. Input of the different vegetation units to the richness and endemism of the New Caledonian flora. *Flora*, vol. 162, pp. 54-59.
- Jaunatre R., Buisson E., Muller I., Morlon H., Mesléard F., Dutoit T. 2013. New synthetic indicators to assess community resilience and restoration success. *Ecological Indicators*, 29, 468-477.
- Jégat R. 2015. Le génie écologique : pratiques innovantes pour les écosystèmes et les territoires. Educagri Editions. 184 p.
- Jourdan H., Mille C. 2006. Les invertébrés introduits dans l'archipel néo-calédonien: espèces envahissantes et potentiellement envahissantes. Première évaluation et recommandations pour leur gestion. M.-L. Beauvais et al.: Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien, Paris, IRD Editions, pp. 163-214.
- Lachat B. 1994. Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Paris : ministère de l'Environnement, Diren Rhône-Alpes, 135 p.
- L'Huillier L. , Jaffré Tanguy , Wulff A. , Lebrun Michel , Maggia L. , Barré N. , Chazeau J., Hervé J., Amir H. , Ducouso M. , Gâteblé G. , Fogliani B. , Zongo C. , Vea C. 2010. Mines et environnement en Nouvelle-Calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration. Païta : Institut Agronomique Néo-Calédonien, 2010, 411 p. (Etudes Synthèses). ISBN 978-2-9523950-8-3.
- Lira-Caballero, V.G., Martínez-Menez, M.R., Romero-Manzanares, A., García-Moya, E. (2018) Initial floristic composition of rehabilitated gullies through bioengineering in the Mixteca Region, Sierra Madre del Sur, Mexico. *Journal of Mountain Science*, 15 (10), pp. 2120-2135.
- Losfeld, G., L'Huillier, L., Fogliani, B., Jaffré, T., & Grison, C. (2015). Mining in New Caledonia: environmental stakes and restoration opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8), 5592-5607.
- Malavoi J.R., Souchon Y. 2010. Eléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal. Volets hydromorphologie-hydroécologie. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ.
- Mille, C., Henderson, R.C., Cazères, S., Jourdan, H. 2016. An annotated checklist of scales and mealybugs (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea) from New Caledonia. *Zoosystema* 38(2): 122-176.

- Mittermeier R.A., Turner W.R., Larsen F.W., Brooks T.M., Gascon C. 2011. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. *Biodiversity hotspots*, pp. 3-22.
- Molina A, Govers G, Cisneros F, Vanacker V (2009) Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 755-767.
- Morat P. 1993. Our knowledge of the flora of New Caledonia: endemism and diversity in relation to vegetation types and substrates. *Biodiversity letters*, pp. 72-81.
- Moynot G., Rey F., Delvienne Q. 2015. Programme des opérations de protection et de restauration - Bassin de captage de Haccinem. RESCCUE-INTEGRE, 57 p.
- Navarro L., Peress J., Malavoi J.R. 2012. Aide à la définition d'une étude de suivi -recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau. 2012.
- ONF. 2009. Ouvrages bois dans les cours d'eau, Etat de l'art, applications et dimensionnements, Guide technique, 57 p.
- Pascal, M., Richer de Forges 2008. La Nouvelle-Calédonie, un « point chaud » de la biodiversité mondiale gravement menacé par l'exploitation minière. *Journal de la Société des océanistes* 126 : 95-112
- Phillips C.J., Rey F., Marden M., Liébault F. (2013) Revegetation of degraded steplands in France and New Zealand: a comparison of geomorphic and policy responses. *New Zealand journal of forestry science*, vol. 43: 14.
- Pillon, Y., Barrabé, L. & Buerki, S. 2017. How many genera of vascular plants are endemic to New Caledonia? A critical review based on phylogenetic evidence. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 183, 177–198
- Rao, B.K., Pande, V.C., Kurothe, R.S., Singh, A.K., Parandiyal, A.K. (2018) Bamboo-based bioengineering interventions for rehabilitation of ravines. *Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security*, pp. 397-412.
- Rey F. (2018) Role of bioengineering structures made of willow cuttings in marly sediment trapping: assessment of three real-size experiments in the Southern French Alps. *Journal of mountain science*, vol. 15, pp. 225-236.
- Rey F. (2018). Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal. Editions Quae.
- Rey F. (2011) Génie biologique contre l'érosion torrentielle. Editions Quae. 100 p.
- Rey, F. (2009) A strategy for fine sediment retention with bioengineering works in eroded marly catchments in a mountainous mediterranean climate (Southern Alps, France). *Land Degradation and Development*, 20 (2), pp. 210-216.
- Rey F., Gosselin F., Dore A. (Coord.). 2014. Ingénierie écologique : action par et/ou pour le vivant ? Editions Quae. 165 p.
- Rey F., C. Bifulco, G.B. Bischetti, F. Bourrier, G. De Cesare, F. Florineth, F. Graf, M. Marden, S. Mickovski, C. Phillips, K. Peklo, J. Poesen, D. Polster, F. Preti, H.P. Rauch, P. Raymond, P. Sangalli, G. Tardio, A. Stokes (2019) Soil and water bioengineering: practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration. *Science of the total environment*, vol. 648, pp. 1210-1218.
- Rey F., Crosaz Y., De Matos M., Cassotti F. 2015. Génie végétal, génie biologique et génie écologique : concepts d'hier et d'aujourd'hui. *Sciences, eaux et territoires*, n° spécial « L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire », pp. 4-9.
- Rey F., Labonne S., Breton V., Louis S., Talaska N., Erktan A., Dumas A., Burylo M., Dangla L., Lavandier G. (2015a) Utilisation innovante du génie végétal pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation à l'échelle du territoire de la Durance. *Sciences, eaux et territoires*, n° spécial « L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire », pp. 28-35.

- Rey F., Lescourret F., Cote F., Dutoit T. (Coord.). (2015b) L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire. Sciences, eaux et territoires, n° spécial, 76 p.
- Rey, F., Labonne, S. (2015c) Resprout and Survival of Willow (*Salix*) Cuttings on Bioengineering Structures in Actively Eroding Gullies in Marls in a Mountainous Mediterranean Climate: A Large-Scale Experiment in the Francon Catchment (Southern Alps, France). *Environmental Management*, 56 (4), pp. 971-983.
- Schwarz M. Poesen J., Rey F., Hölbling D., Phillips C. 2020. Bio-physical performance of erosion and sediment control/mitigation techniques - an international comparison to common practices in New Zealand. Report of the STEC project. Sous presse.
- Stokes A, Douglas G, Fourcaud T, Giadrossich F, Gillies C, Hubble T, Kim J, Loades K, Mao Z, McIvor IR, Mickovski SB, Mitchell S, Osman N, Phillips C, Poesen J, Polster D, Preti F, Raymond P, Rey F, Schwarz M, Walker LR (2014) Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. *Plant and Soil* 377(1-2): 1-23.
- Van Andel J., Aronson J. 2012. *Restoration Ecology: The New Frontier*. 2nd edition. Wiley- Blackwell, Oxford, UK.
- Wills B.D., Landis D.A. 2018. The role of ants in north temperate grasslands: a review. *Oecologia*, 186:323-338.
- Whistler W.A., Elevitch C.R. 2006. *Erythrina variegata* (coral tree), *Traditional Trees of Pacific Islands: The Culture, Environment And Use, Permanent Agriculture Resources* (June 1, 2006), 816 p, site web : <https://agroforestry.org/free-publications/traditional-tree-profiles>
- Zeh. 2007. *Génie biologique : Manuel de construction*. Vdf, 441 p.

## **5. ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Fiche terrain pour le retour d'expérience**

**ANNEXE 2 : Références scientifiques listées pour le benchmark**

**ANNEXE 3 : Fiches de retours d'expériences de sites visités en mai 2021**

**ANNEXE 4 : Sites écartés**

**ANNEXE 5 : Sites visités en novembre / décembre 2021**

**ANNEXE 6 : Les espèces végétales à potentiel de bouturage**

**ANNEXE 7 : Illustrations du volet pré-expérimental**

**ANNEXE 8 : Cartes de localisation des sites de démonstration et des emplacements des ouvrages**

**ANNEXE 9 : Projet d'article pour EchoSciences**

## ANNEXE 1 : FICHE TERRAIN POUR LE RETOUR D'EXPÉRIENCE

N° IDENTIFICATION

Nom du site :

### Géographie

Commune :

Accessibilité physique :

Distance de Nouméa :

Accessibilité administrative :

CARTE

### Environnement et historique de la ravine

Milieu environnant :

Date apparition ravine :

Évènement à son origine

Liste des ouvrages

CARTE

**Nom ouvrage :**

**Coordonnées GPS :**

**Type d'ouvrage :**

- Mur bois     Cunette     Seuil bois     Fascine branches     Fascine autres  
 Géofilet     Cordon pierres     Enrochements     Modelage berges     Bernes

**Végétalisation associée :**

- Semis hydraulique     Plantation

**Espèces végétales utilisées :**

- |   |   |
|---|---|
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

**Historiques des ouvrages**

→ **Entretien(s) depuis la construction :**

→ **Phénomènes climatiques  
exceptionnels :**

## ANNEXE 2

### Références scientifiques listées pour le benchmark

La liste des références scientifiques trouvées pour le benchmark international apparaît ci-après, par type de milieu. Les types d'ouvrages étudiés sont mentionnés en rouge.

#### Reviews

Bartley R, Poesen J, Wilkinson S, Vanmaercke M 2020. A review of the magnitude and response times for sediment yield reductions following the rehabilitation of gullied landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*. Sous presse.

Frankl A, Nyssen J, Vanmaercke M, Poesen J (en prép.). Gully prevention and control: techniques, failures and effectiveness. *Earth Surface Processes and Landforms*.

Rey F, Bifulco C, Bischetti GB, Bourrier F, De Cesare G, Florineth F, Graf F, Marden M, Mickovski SB, Phillips C, Peklo K, Poesen J, Polster D, Preti F, Rauch HP, Raymond P, Sangalli P, Tardio G, Stokes A 2019. Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration. *Science of The Total Environment* 648: 1210-1218.

Stokes A, Douglas G, Fourcaud T, Giadrossich F, Gillies C, Hubble T, Kim J, Loades K, Mao Z, McIvor IR, Mickovski SB, Mitchell S, Osman N, Phillips C, Poesen J, Polster D, Preti F, Raymond P, Rey F, Schwarz M, Walker LR 2014. Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. *Plant and Soil* 377(1-2): 1-23.

#### Berges de rivières

Barrett, K., Goldsmith, W., Silva, M. (2006) Integrated bioengineering and geotechnical treatments for streambank restoration and stabilization along a landfill. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61 (3), pp. 144-153.

⇒ Live poles, brush layers, live stakes, brush fascine

Cavaillé, P., Ducasse, L., Breton, V., Dommanget, F., Tabacchi, E., Evette, A. (2015) Functional and taxonomic plant diversity for riverbank protection works: Bioengineering techniques close to natural banks and beyond hard engineering. *Journal of Environmental Management*, 151, pp. 65-75.

Janssen, P., Cavaillé, P., Bray, F., Evette, A. (2019) Soil bioengineering techniques enhance riparian habitat quality and multi-taxonomic diversity in the foothills of the Alps and Jura Mountains. *Ecological Engineering*, 133, pp. 1-9.

⇒ Willow fascines, vegetated crib wall (France, Switzerland)

Dhital, Y.P., Kayastha, R.B., Shi, J. (2013) Soil bioengineering application and practices in Nepal. *Environmental Management*, 51 (2), pp. 354-364.

⇒ **Brush layering, palisades, live check dams, fascines, vegetative stone pitching (Nepal)**

Dhital, Y.P., Tang, Q. (2015). Soil bioengineering application for flood hazard minimization in the foothills of Siwaliks, Nepal. *Ecological Engineering*, 74, pp. 458-462.

⇒ **Vegetative check dams, wire net check dams along with vegetation (Nepal)**

Li, X., Zhang, L. (2006) Application and effectiveness of soil bioengineering in ecological restoration of stream bank. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (9), pp. 1705-1710.

⇒ **Planting, live stakes, live fascines, brush layering (China)**

Li, X., Zhang, L., Zhang, Z. (2006) Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. *Ecological Engineering*, 26 (3), pp. 304-314.

⇒ **Live staking, live fascines, brush layer, vegetated geo-grids, geo-gabions (China)**

Maffra, C.R.B., Sutili, F.J. (2020) The use of soil bioengineering to overcome erosion problems in a pipeline river crossing in South America. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5 (1), art. no. 24,

⇒ **Bioengineering (South America)**

Petrone, A., Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (2), pp. 239-250.

⇒ **Live crib wall (Nicaragua)**

Sauli, G., Ferraiolo, F., Valentini, R. (2017) Carbon sequestration and habitat reconstruction on riverbank consolidation works by means of bioengineering techniques with wire mesh structures. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 4 (4), pp. 291-300.

⇒ **Green reinforced earths, bank protections mattresses, gabion dams and walls (Italy)**

## **Ravines**

Lira-Caballero, V.G., Martínez-Menez, M.R., Romero-Manzanares, A., García-Moya, E. (2018) Initial floristic composition of rehabilitated gullies through bioengineering in the Mixteca Region, Sierra Madre del Sur, Mexico. *Journal of Mountain Science*, 15 (10), pp. 2120-2135.

⇒ **Live barriers (Mexico)**

Rao, B.K., Pande, V.C., Kurothe, R.S., Singh,, A.K., Parandiyal, A.K. (2018) Bamboo-based bioengineering interventions for rehabilitation of ravines. Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security, pp. 397-412.

⇒ Bori-bund reinforced with bamboo, trenching, bamboo live check dam (India)

Rey, F. (2018) Role of bioengineering structures made of willow cuttings in marly sediment trapping: assessment of three real-size experiments in the Southern French Alps. Journal of Mountain Science, 15 (2), pp. 225-236.

Rey, F., Labonne, S. (2015) Resprout and Survival of Willow (Salix) Cuttings on Bioengineering Structures in Actively Eroding Gullies in Marls in a Mountainous Mediterranean Climate: A Large-Scale Experiment in the Francon Catchment (Southern Alps, France). Environmental Management, 56 (4), pp. 971-983.

Rey, F. (2009) A strategy for fine sediment retention with bioengineering works in eroded marly catchments in a mountainous mediterranean climate (Southern Alps, France). Land Degradation and Development, 20 (2), pp. 210-216.

⇒ Brush layers and brush mats on wooden sills (France)

### **Mouvements de masse (glissements)**

Balangcod, K.D., Wong, F.M., Balangcod, T.D. (2015) Chrysopogon zizanioides (vetiver grass) as a potential plant for landslide bioengineering at Atok, Benguet, Philippines. Australian Journal of Botany, 63 (3-4), pp. 216-221.

⇒ Vetiver planting (Philippines)

Lammeranner, W., Rauch, H.P., Laaha, G. (2005) Implementation and monitoring of soil bioengineering measures at a landslide in the Middle Mountains of Nepal. Plant and Soil, 278 (1-2), pp. 159-170.

⇒ Vegetated crib walls (Nepal)

Giupponi, L., Borgonovo, G., Giorgi, A., Bischetti, G.B. (2019) How to renew soil bioengineering for slope stabilization: some proposals. Landscape and Ecological Engineering, 15 (1), pp. 37-50.

⇒ Bioengineering (Italy)

### **Versants**

Dhital, Y.P., Kayastha, R.B., Shi, J. (2013) Soil bioengineering application and practices in Nepal. Environmental Management, 51 (2), pp. 354-364.

⇒ Brush layering, palisades, live check dams, fascines, vegetative stone pitching

Galvão, T.C.D.B., Pereira, A.R., Parizzi, M.G., Alves Da Silva, H. (2010) Bioengineering techniques associated with soil nailing applied to slope stabilization and erosion control. *Natural Hazards Review*, 11 (2), pp. 43-48.

⇒ Seeding, rolling out the coconut fiber blankets, reinforced mat

Petrone, A., Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (2), pp. 239-250.

⇒ Live palisade (Nicaragua)

### **Milieu méditerranéen**

Fernandes, J.P., Guiomar, N. (2016) Simulating the stabilization effect of soil bioengineering interventions in Mediterranean environments using limit equilibrium stability models and combinations of plant species. *Ecological Engineering*, 88, pp. 122-142.

⇒ Vegetated log cribwall

Zaimes, G.N., Tardio, G., Iakovoglou, V., Gimenez, M., Garcia-Rodriguez, J.L., Sangalli, P. (2019) New tools and approaches to promote soil and water bioengineering in the Mediterranean. *Science of the Total Environment*, 693, art. no. 133677.

⇒ Bioengineering

# RAVINES A RETOUR D'EXPERIENCE

Nom du site : **Bel Air**

## GEOGRAPHIE

**Commune** : Houailou

**Accessibilité physique** : VL 4x4

**Distance de Nouméa** : 240 km

**Accessibilité administrative** : Contacter M. Charles DEUWARI (82 38 38)



## ENVIRONNEMENT ET HISTORIQUE DE LA RAVINE

**Date apparition ravine** : ?

**Évènement à son origine** : Mauvaise gestion des eaux à l'époque de l'exploitation de la mine

**Année des travaux** : 2011 et 2020

## LISTE DES OUVRAGES REALISES

### 1. Ravines Est

#### Année 2011

##### Des zones amont vers les zones aval de Rav.1 :

Reprofilage – terrassement à la pelle araignée d'une zone de plate-forme

Pose de petits ouvrages bois (ou fascines en rondins) le long de la rive gauche

*NB : ces ouvrages sont réalisés avec les chutes de rondins des seuils bois (réduction des pertes)*

Remodelage et empierrement d'une zone riche en blocs

Réalisation de 2 seuils en bois

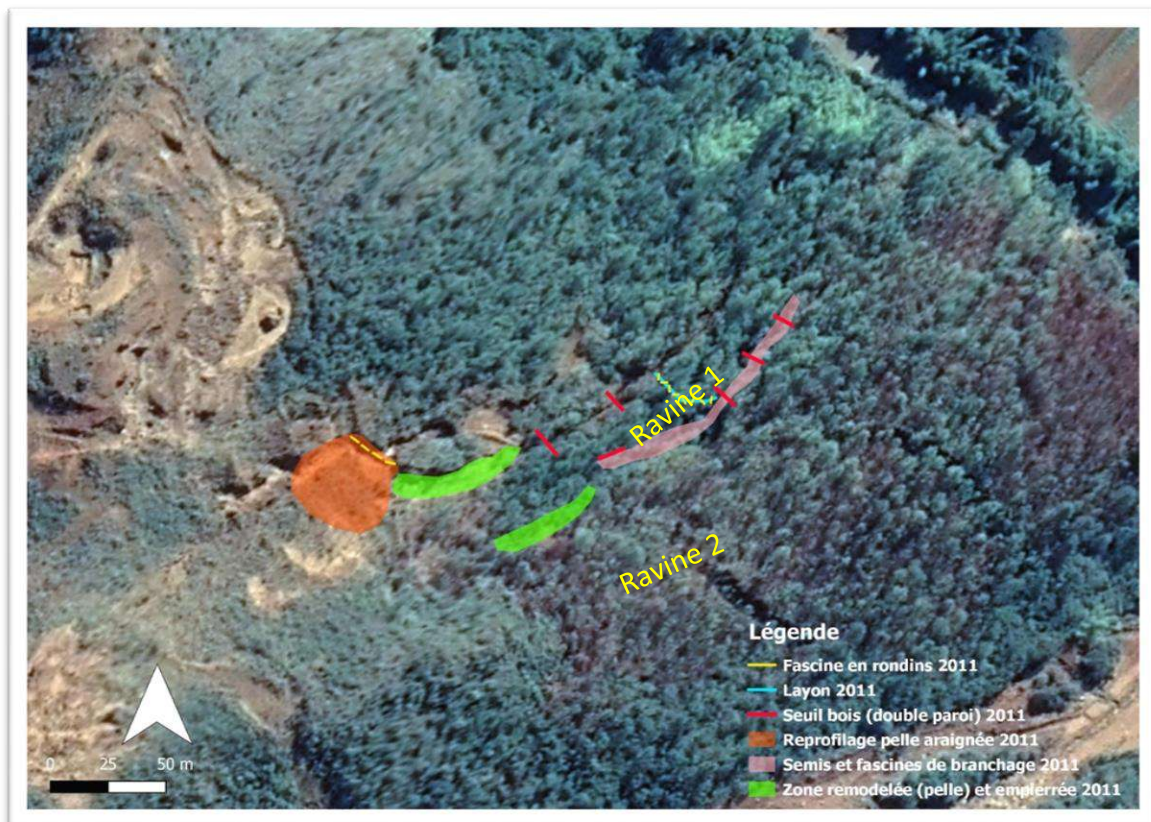
##### Des zones amont vers les zones aval de Rav.2 :

Remodelage et empierrement d'une zone riche en blocs

Réalisation de 4 seuils en bois + Pose de petits ouvrages bois (ou fascines en rondins) dans la partie haute de la ravine + Pose de fascines de branchages + Réalisation d'un semis à sec (Graminées + espèces natives) sur les zones terrassés (entre chaque seuil)

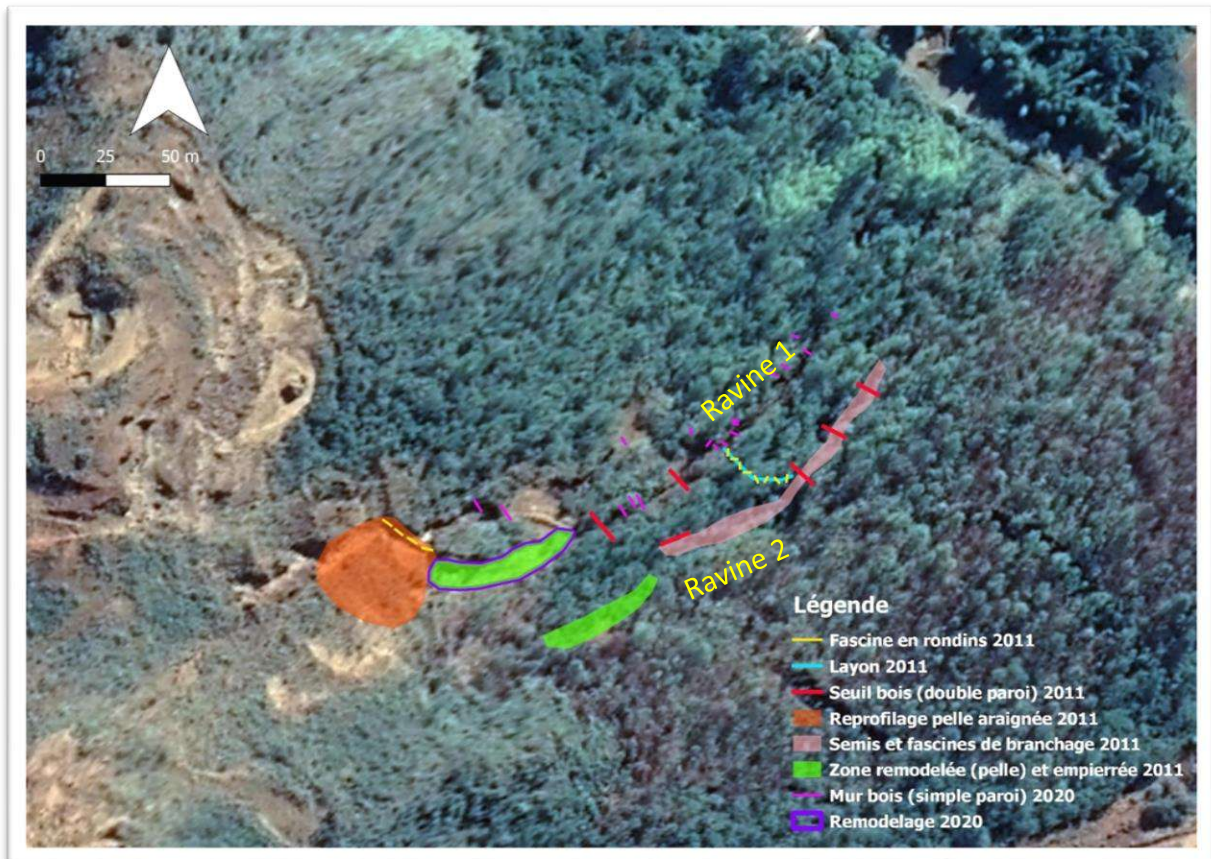
##### Dans le layon qui relie Rav.1 à Rav.2 :

Pose de petits ouvrages bois (ou fascines en rondins)



## Année 2020

Des zones amont vers les zones aval de Rav.1 :  
Réalisation de 17 murs simple paroi



## 2. Carrière basse

### Année 2011

Réalisation d'un seuil en bois dans une des ravines situées au Sud-Ouest de la carrière basse



### Année 2020

Réalisation de 10 murs simple paroi dans les 3 ravines situées au Sud-Ouest de la carrière basse



1. Ravines Est

Rav.1 – Zone remodelée empierrée

Etat initial



Aspect à t0 après travaux



Aspect à t+ 9ans



Aspect à t+9 ans et après travaux 2020



Rav.1 – Zone des 2 premiers seuils amont

Etat initial ??



Aspect à t0 après travaux



Aspect à t+ 6ans



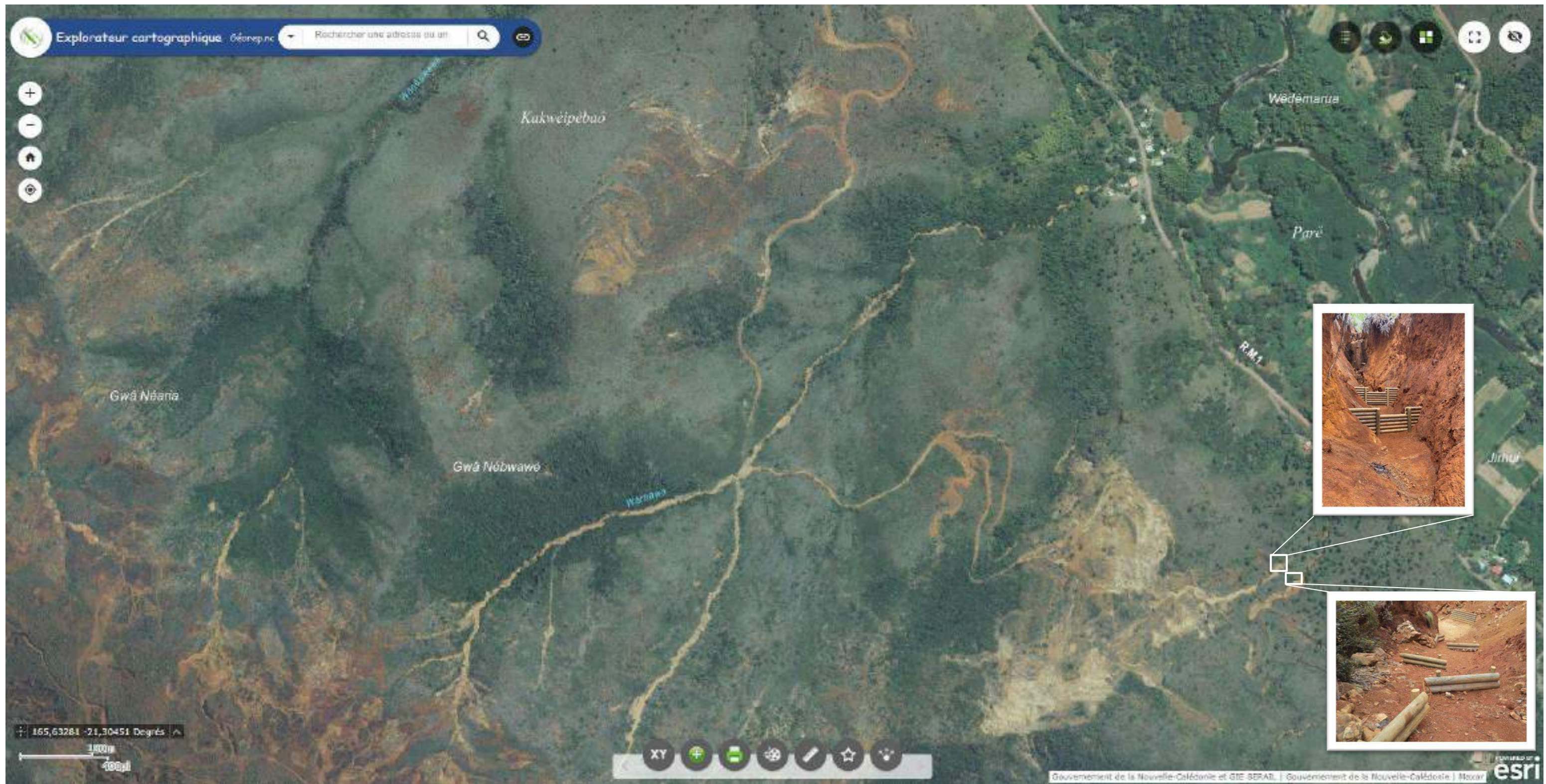
Rav.2 – Zone aval (3 seuils bois + semis à sec + fascines branches)



2. Carrière basse



AUTRES ILLUSTRATIONS DES OUVRAGES REALISES



Mur en bois simple paroi :



Année 2020 :

Réalisation de cordons de pierre, de murs bois simple paroi, reprofilage à la mini-pelle araignée et mise en place de fascines sur différentes zones de l'ancienne mine Bel Air.

Cordons de pierres :



# RAVINES A RETOUR D'EXPERIENCE

Nom du site : **Ravine Cook**

## GEOGRAPHIE

**Commune** : Poya

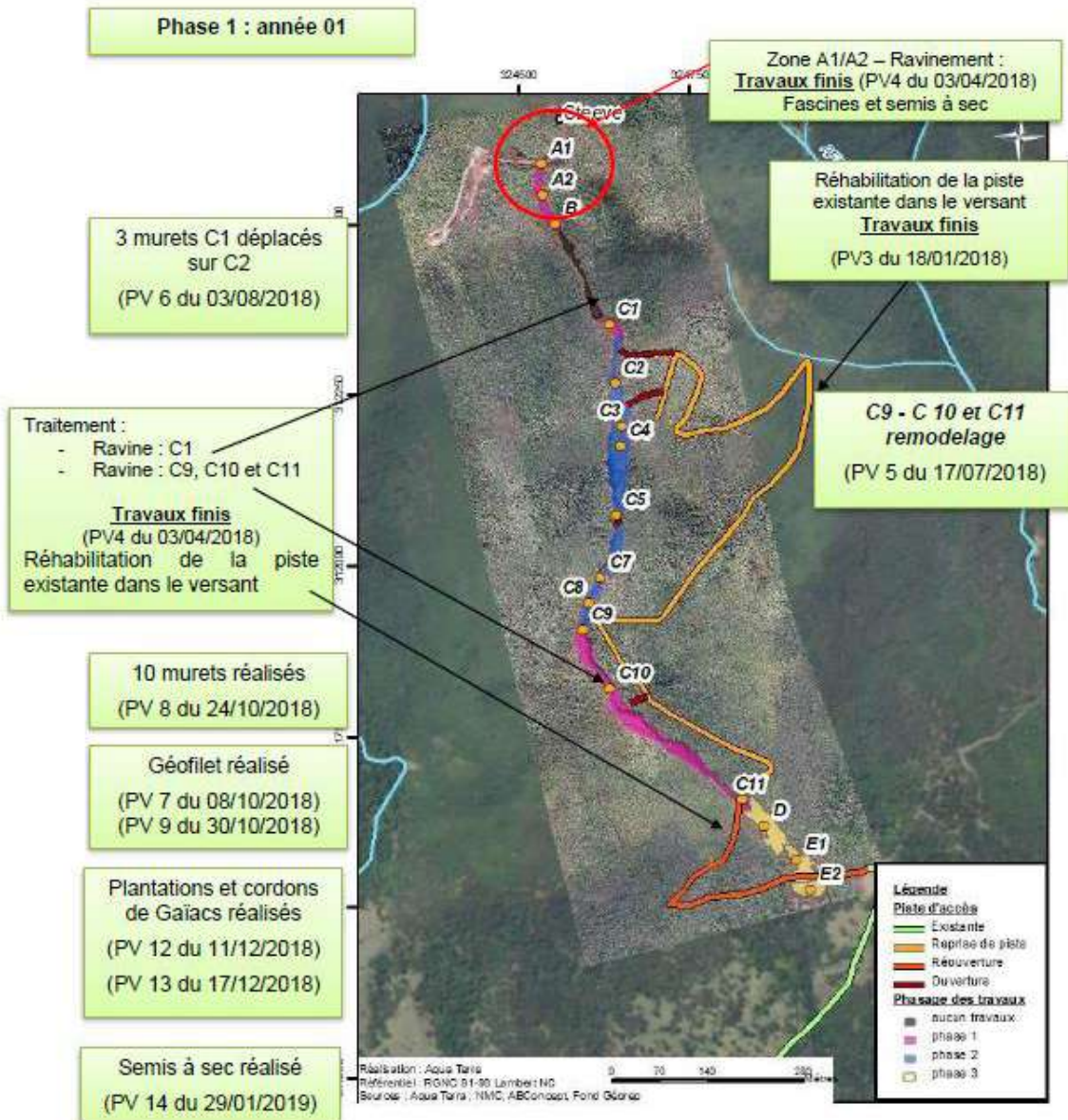
**Accessibilité physique** : 4x4 + pieds

**Distance de Nouméa** : 200 km

**Accessibilité administrative** : NMC + propriétaire Mr Newland



**LISTE DES OUVRAGES REALISES EN 2018/2019**



REMODELAGE

AVANT



APRES



GEOFILLET ET SEMIS A SEC



SEUILS BOIS SIMPLE PAROI



## PLANTATION

### Plantation en plein



### Plantation en cordons de gaiac



**LISTE DES OUVRAGES REALISES EN 2019**

PHASE	PHASE 2			
	Type de travaux	Type d'ouvrage / travaux	Prévu	Revu
Entretien	Entretien de la piste		2,1 km	2,1 km
		Reprofilage au besoin, entretien des ouvrages, fertilisation, remplacement des plants morts	L'ensemble des travaux réalisés en phase 1	Augmentation des travaux d'entretien (augmentation de 30%) afin d'intégrer environ 30j de la petite pelle araignée afin de reprendre le reprofilage de la zone C10/C11 Reprise des murets de comblement présentant des désordres Fertilisation Remplacements des plants morts
Terrassement / Génie civil	Remodelage des plages de dépôts, des talus et du lit de la ravine		2 mois (44 j) de pelle araignée correspondant environ à 5 868 m <sup>2</sup> (surface 2D / estimation)	Environ 2 mois (40 j) de pelle araignée correspondant environ à 5 868 m <sup>2</sup> (surface 2D / estimation)
		Murets (seuils) de comblement	10 ouvrages correspondant à 34,3 ml de 1,5 m de haut	13 ouvrages correspondant à 47 ml de 1,5 m de haut
Génie biologique	Fascines		903 ml	560 ml
	Cordons de pierre			400 ml
	Toile de jute		406,8 m <sup>2</sup>	369 m <sup>2</sup>
Revégétalisation	Plantations		2 300 plants	865 plants
	Semis à sec 100% graines du maquis densité très forte		406,8 m <sup>2</sup>	369 m <sup>2</sup>
	Fertilisation (Matière organique, engrais, sans graines)		/	1507 m <sup>2</sup>
	Fertilisation (Matière organique, engrais, avec graines – uniquement des cypéracées à hauteur de 500 graines/m <sup>2</sup> )		/	982 m <sup>2</sup>

CORDONS DE PIERRE + FASCINES DE BRANCHAGE



SEUILS BOIS SIMPLE PAROI



Suite à l'éboulement de la piste d'accès, les travaux ont dû être stoppés début 2020. Les murs bois n'ont donc pas été réalisés. La reprise du chantier devrait se faire d'ici milieu d'année (2021).

EVOLUTION 2019/2020





# RAVINES A RETOUR D'EXPÉRIENCES

Nom du site : **N'Go**

## GEOGRAPHIE

**Commune** : Mont-Dore

**Accessibilité physique** : Simple

**Distance de Nouméa** : 45 km

**Accessibilité administrative** : Facile - Demande à faire auprès de la NMC



Pluviosité moyenne annuelle (mm/an) :

Dimension ravine :

Température moyenne annuelle (°C) :

Longueur (m) :

Altitude moyenne (m) :

Largeur (m) :

Géologie :

Hauteur moyenne (m) :

Contexte torrentiel :

Hauteur maximale (m) :

Milieu environnant :

Aire drainée (m<sup>2</sup>) :

Pente longitudinale (°) :

Pente transversale (°) :

## ENVIRONNEMENT ET HISTORIQUE DES RAVINES

**Date apparition ravine** :

**Évènement à son origine** :

Année des travaux : 2017

LISTE DES OUVRAGES REALISES – CONCESSION PB2

3 ouvrages bois simple paroi



EVOLUTION DES ZONES



# RAVINES A RETOUR D'EXPÉRIENCES

Nom du site : **Ouala**

## GÉOGRAPHIE

**Commune** : Ouaco

**Accessibilité physique** : Simple - Bord de route

**Distance de Nouméa** : 337 km

**Accessibilité administrative** : Facile - Demande à faire auprès de la NMC



## ENVIRONNEMENT ET HISTORIQUE DES RAVINES

**Date apparition ravine** :

**Évènement à son origine** : Anciennes décharges

**Année des travaux** : 2015 – 2020 – 2021 (à venir)

## LISTE DES OUVRAGES RÉALISÉS

### 1. Décharge sous la verse OUALA 1 (2015) :

<b>Ravine 1</b>	Reprofilage manuel & semis hydraulique (125 m <sup>2</sup> )
<b>Ravine 2</b>	Reprofilage manuel, 23 fascines, épandage de compost (25 t/ha), géofilet, plantation de 40 plants, semis hydraulique (200 m <sup>2</sup> )
<b>Ravine 3</b>	Reprofilage manuel, 10 seuils bois (2,5 m large x 1,5 m haut), épandage de compost (25 t/ha), géofilet, semis hydraulique (180 m <sup>2</sup> )
<b>Ravine 4</b>	Reprofilage manuel, 22 fascines, épandage de compost (10 t/ha), géofilet, plantation de 140 plants
<b>Ravine 5</b>	45 fascines & plantation de 90 plants
<b>Ravines 6 à 9</b>	Semis hydraulique (450 m <sup>2</sup> )



## 2. Décharge sous la carrière C2 (2015) :

**Parcelle 1** Reprofilage manuel, semis hydraulique fort et 2<sup>nd</sup> passage riche en mulch et matière organique (200 m<sup>2</sup>)

**Parcelle 2** Ravine 1 : reprofilage manuel, épandage de compost (10 t/ha), géofilet, 2 ouvrages bois (4 m de large x 1,5 m de long), semis hydraulique (50 m<sup>2</sup>)

Ravine 2 : reprofilage manuel, 9 fascines, épandage de compost (10 t/ha), géofilet, plantation derrière fascines (20 plants), semis hydraulique (25 m<sup>2</sup>)

Ravine 3 : reprofilage manuel, 1 ouvrage bois (2,5 m de large x 1,5 m de haut), 5 fascines en tête de ravines et plantation de 15 plants, semis hydraulique (35 m<sup>2</sup>)

Ravine 4 : reprofilage manuel, 30 fascines, épandage de compost (10 t/ha), plantation de 90 plants derrière fascines, semis hydraulique (50 m<sup>2</sup>)

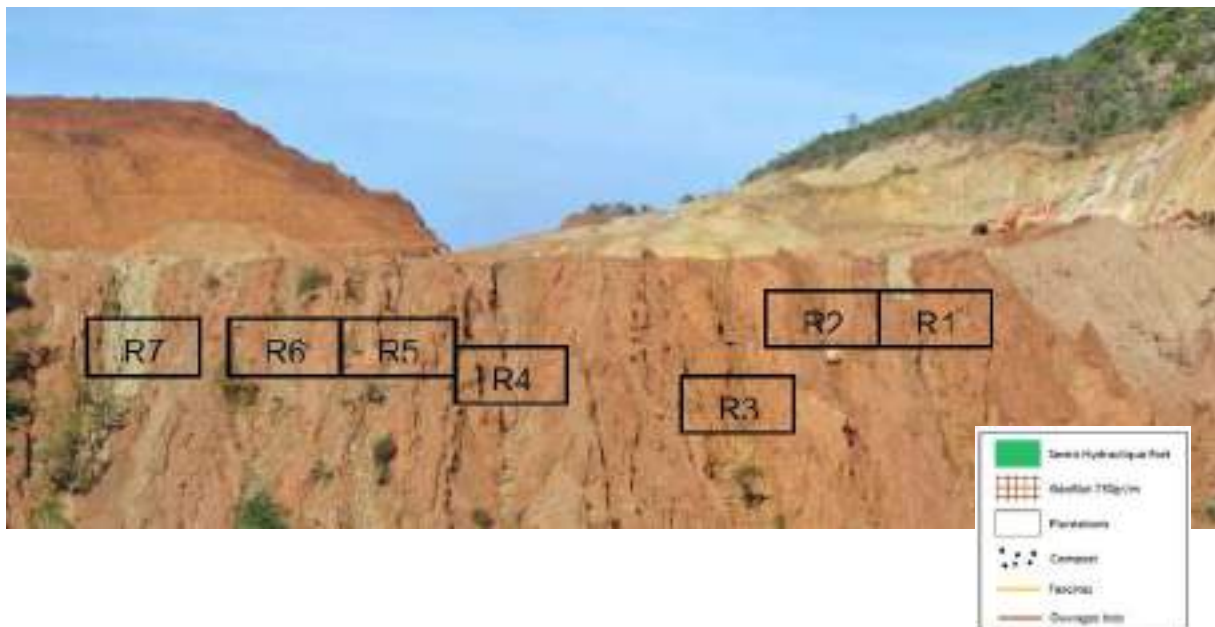
Entre la ravine 3 et 4 : semis hydraulique (100 m<sup>2</sup>)

Ravine 5 : reprofilage manuel, 2 ouvrages bois (4,50 m de large x 1 m de haut), épandage de compost (10 t/ha), semis hydraulique (25 m<sup>2</sup>)

**Parcelle 3** Ravine 6 : 2 ouvrages bois (2,5 m de large x 80 cm de haut)

Ravine 7 : 2 ouvrages bois (6 m de long x 1 m de haut)

Entre les deux ravines : 56 fascines et plantation de 186 plants





## EVOLUTION DES ZONES



Carrière C2 - 2015



Carrière C2 - 2019



Carrière C2 - 2015



Carrière C2 - 2019



Ouala 1 - 2019



Ouala 1 - 2019

Remarques : la prédation des cerfs est très importante, les plantules sont constamment consommées par les cervidés. Seules les espèces non-prédatées plantées derrière les fascines ont survécu, les autres plants sont tous morts.

# RAVINES A RETOUR D'EXPEPIENCE

Nom du site : **Tiébaghi**

## GEOGRAPHIE

**Commune** : Koumac

**Accessibilité physique** : VL 4x4

**Distance de Nouméa** : 390 km

**Accessibilité administrative** : Laissez-passer à demander et passeport sécurité ou induction sur site à passer



## ENVIRONNEMENT ET HISTORIQUE DE LA RAVINE

**Date apparition ravine** : probablement 2007

**Évènement à son origine** : Arrachement survenu lors de pluies exceptionnelles

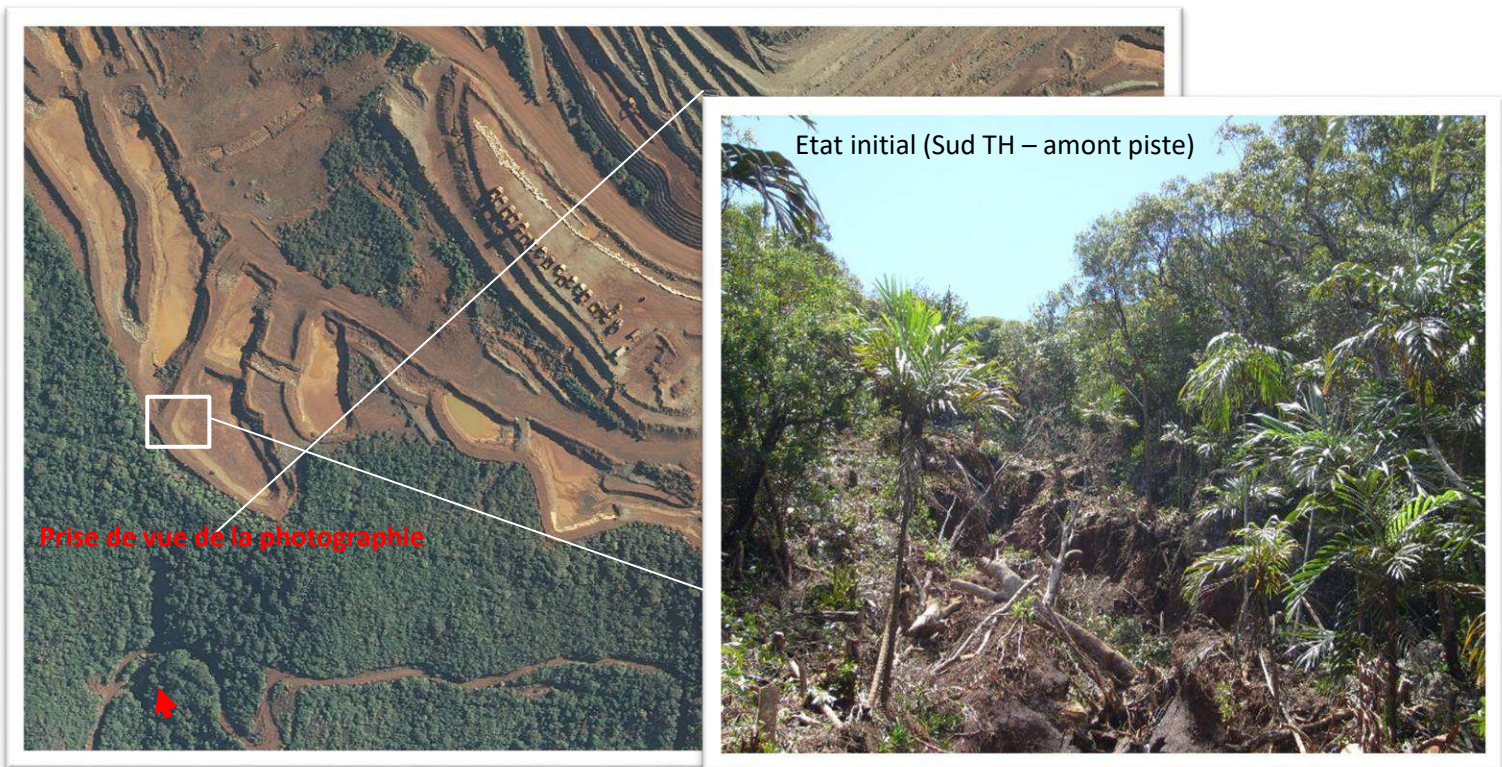
**Année des travaux** : 2008

## LISTE DES OUVRAGES REALISES

Deux zones de travaux :

1. Sur la zone au Sud du Tuyau Hydraulique :

- Ravine**                    Essartage sur 2 mètres  
                                   Découpe des bois encombrant le lit du ruisseau  
                                   Reprofilage de la ravine à la pelle araignée
- Amont piste**            Réalisation de 5 murs de soutènement (1 en partie haute, 2 rive gauche, 2 rive droite)  
                                   Pose de 2 seuils en bois + Création de seuils en enrochements
- Aval piste**                Réalisation d'un mur de soutènement en rive droite  
                                   Pose 2 seuils + cunette en bois  
                                   Plantations d'espèces endémiques sur les parties planes des murs (1 pl./ 50 cm)  
                                   Semis à sec de graminées entre les rondins



## 2. Sur la zone Tuyau Hydraulique :

- Reprofilage de la ravine et mise en place d'une cunette bois jusqu'au bassin de décantation  
 Réalisation d'un mur de soutènement en bois pour stabilisation du bassin en amont de la passerelle  
 Plantations d'espèces endémiques sur les parties planes des murs (1 pl./ 50 cm)  
 Semis à sec de graminées entre les rondins

EVOLUTION DE LA ZONE



Aspect à t0 après travaux (Sud TH – amont piste)



Aspect à t0 après travaux (Sud TH – aval piste)



Aspect à t+3mois (Sud TH – amont piste)



Aspect à t+3mois (Sud TH – aval piste)



Aspect à t+10 ans (Sud TH – amont piste)



Aspect à t+10 ans (Sud TH – aval piste)

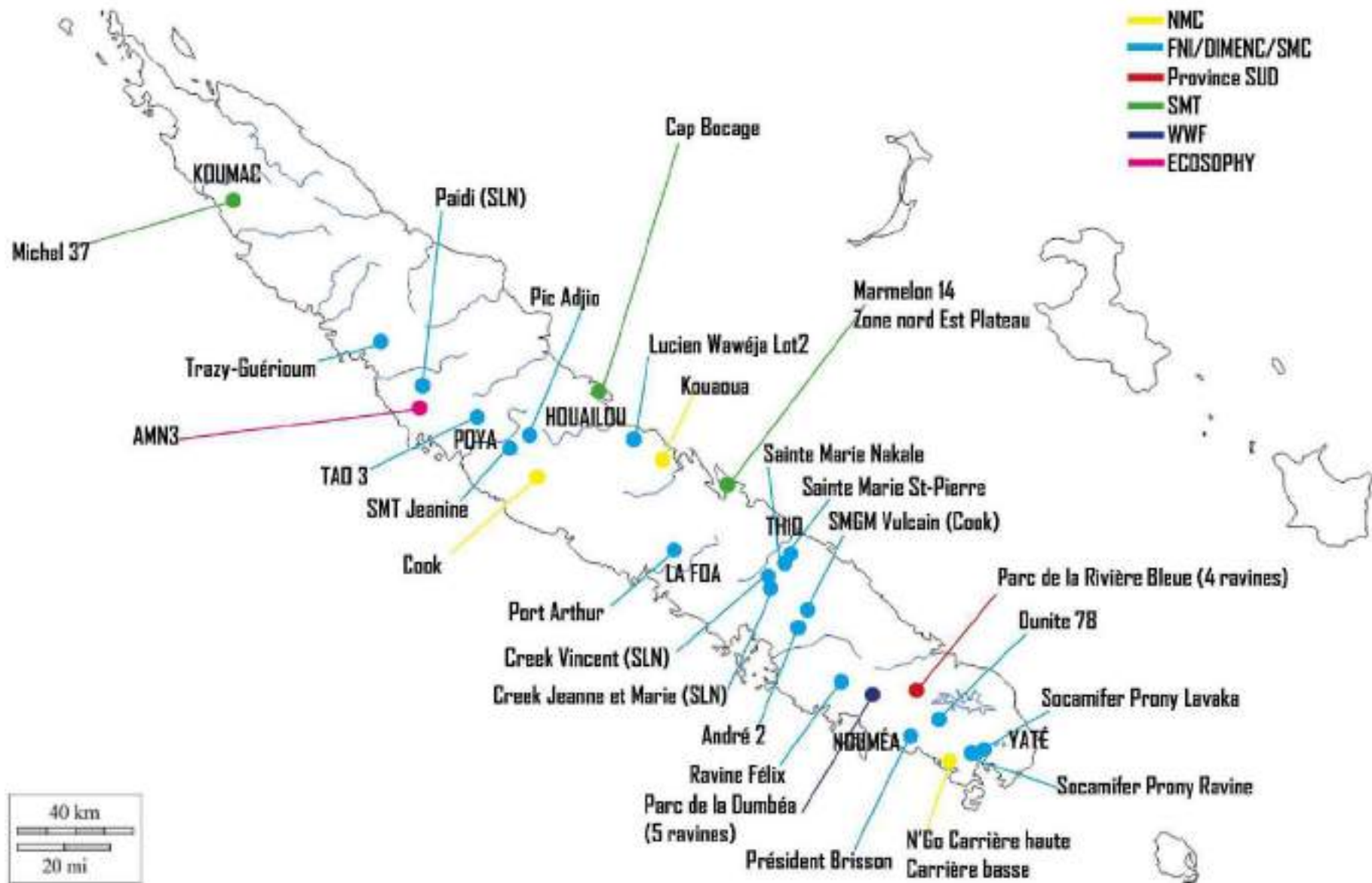
## ANNEXE 4

### Sites écartés

#### SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CARTE DE LOCALISATION DES SITES</b>	<b>150</b>
<b>2.</b>	<b>SITES ÉCARTÉS</b>	<b>152</b>
2.1.	DIMENC / SMC ET FOND NICKEL	152
2.1.1.	<i>André 2, commune de la Tontouta ?</i>	152
2.1.2.	<i>Cap Dua (PS)</i>	153
2.1.3.	<i>Creek Jeanne et Marie, commune de Thio</i>	155
2.1.4.	<i>Creek Vincent, commune de Thio ?</i>	156
2.1.5.	<i>DUNITE 78, commune de Mont-Dore ?</i>	157
2.1.6.	<i>Lucien Waweja, commune de Houailou ?</i>	158
2.1.7.	<i>Pic Adjio, commune de la Poya Nord ?</i>	159
2.1.8.	<i>Ravines de Paidi, commune de Pouembout ?</i>	160
2.1.9.	<i>Président Brisson (décharge), commune Mont Dore ?</i>	162
2.1.10.	<i>Port Arthur, commune de Sarraméa ?</i>	163
2.1.11.	<i>Ravine Félix, commune de Païta ?</i>	165
2.1.12.	<i>Sainte Marie Nakale, commune de Thio ?</i>	166
2.1.13.	<i>Ravine Trazy Guerioum, commune de Koné ?</i>	167
2.1.14.	<i>Sainte Marie (St Pierre), commune de Thio ?</i>	168
2.1.15.	<i>SMT JEANINE, commune de la Poya Sud ?</i>	169
2.1.16.	<i>SMGN Vulcain (Cook), commune de la Tontouta ?</i>	170
2.1.17.	<i>SOCAMIFER, commune de Mont Dore ?</i>	171
2.1.18.	<i>TAO3, commune de la Poya Nord</i>	172
2.2.	ECOSOPHY	173
2.2.1.	<i>AMN3 – Mine AMN3 – Commune Nés</i>	173
2.2.2.	<i>Ravine 2 – N’Go – Carrière basse</i>	175
2.3.	NMC - NICKEL MINING COMPANY	176
2.3.1.	<i>Ravine Cook – Mine Pinpin – Commune Poya</i>	176
2.4.	PROVINCE SUD	178
2.4.1.	<i>Autre ravine visitée par SIRAS Pacifique « Entrée du parc »</i>	178
2.4.2.	<i>Autre ravine visitée par SIRAS Pacifique « Ravines avec PL T. Bouacou »</i>	180
2.5.	SMT – SOCIÉTÉ DES MINES DE LA TONTOUTA	182
2.5.1.	<i>Mamelon 14, mine Nakety, commune de Canala</i>	182
2.6.	WWF	186
2.6.1.	<i>Ravine 1, commune de Dumbéa</i>	186
2.6.2.	<i>Ravine 2, commune de Dumbéa</i>	188
2.6.3.	<i>Ravine 3, commune de Dumbéa</i>	190
2.6.4.	<i>Ravine 4, commune de Dumbéa</i>	192
2.6.5.	<i>Ravine 5, commune de Dumbéa</i>	194

**- CARTE DE LOCALISATION DES SITES**



## - SITES ÉCARTÉS

### DIMENC / SMC ET FOND NICKEL

#### ANDRÉ 2, COMMUNE DE LA TONTOUTA ?

[Localisation de André 2 sur google maps](#)

#### Photos

Pas de photos pour le moment.

#### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fond
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	Ultra
Id Ravine	André2
Situation	Trop raide et rocheux
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

#### Diagnostic

La pente du site et la nature rocheuse du terrain conduisent à écarter ce site.

**CAP DUA (PS)**

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	Province Sud
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	
Id Ravine	Cap Ndua (PS)
<b>Situation</b>	Travaux DDR à évaluer, compléter ?
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	
<b>Exposition</b>	
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	
<b>Usage actuel des sols</b>	
<b>Usage passé des sols</b>	
<b>Autre commentaire utile</b>	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
<b>Q2 DAVAR (m<sup>3</sup>/s)</b>	

## Diagnostic

Ce site n'est plus une ravine candidate car plusieurs ouvrages y ont déjà été installés (par SIRAS) ; il est donc à appréhender comme site à ReX.

## **CREEK JEANNE ET MARIE, COMMUNE DE THIO**

[Localisation de Creek Jeanne et Marie sur google maps](#)

### **Photos**

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### **Descriptif**

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	Ultra
Id Ravine	Creek Jeanne et Marie
Situation	Plutôt éboulement
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### **Diagnostic**

De part son ampleur, le site ne présente pas les caractéristiques appropriées pour être remis en état par les techniques du génie végétal.

## CREEK VINCENT, COMMUNE DE THIO ?

[Localisation de Creek Vincent sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fc
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	Ultra
Id Ravine	Creek Vincent
Situation	Plutôt éboulement
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

De part son ampleur, le site ne présente pas les caractéristiques appropriées pour être remis en état par les techniques du génie végétal.

## DUNITE 78, COMMUNE DE MONT-DORE ?

[Localisation de DUNITE 78 sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	New
Id Ravine	DUNITE 78 (Griffes)
Situation	A concevoir et réaliser
Lithologie / Formation superficielle	Latérites (indurées)
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	Accès facile, route + pistes proches
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente de confirmation de Véronique Forlacroix.

## LUCIEN WAVEJA, COMMUNE DE HOUAÏLOU ?

[Localisation de Lucien Waweja sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fc
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	Ultra
Id Ravine	Lucien Waweja
Situation	Plutôt éboulement
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente de confirmation de Véronique Forlacroix.

## PIC ADJIO, COMMUNE DE LA POYA NORD ?

[Localisation du Pic Adjio sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel	
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE	
maîtrise d'ouvrage	Fonds Nickel	
maîtrise d'œuvre	Miguel	
Entreprise		
Id Ravine	Pic Adjio	
Situation	Mise hors d'eau ravine, A compléter?	
Lithologie / Formation superficielle		
Sols		
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)		
Altitude (m a.s.l.)		
Exposition		
Topographie		
Climat		
Précipitations annuelles (mm/an)		
Mois les plus pluvieux		
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )		
Accessibilité	Poya + Piste + marche Hélico	
Usage actuel des sols		
Usage passé des sols		
Autre commentaire utile		
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)		
région hydro	Ouest	
K DAVAR		55
Q100 DAVAR (m3/s)		0
Q2 DAVAR (m3/s)		0

### Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité.

***RAVINES DE PAIDI, COMMUNE DE POUEMBOUT ?***

[Localisation des ravines de Paidi sur google maps](#)

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fc
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	Ultra
Id Ravine	Paidi
<b>Situation</b>	Plutôt éboulement
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	
<b>Exposition</b>	
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	
<b>Usage actuel des sols</b>	
<b>Usage passé des sols</b>	
<b>Autre commentaire utile</b>	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
<b>Q2 DAVAR (m<sup>3</sup>/s)</b>	

## Diagnostic

Ce site n'est plus une ravine candidate car des travaux de semis hydraulique ont réalisés en 2020 par SIRAS). Ce site est à appréhender comme un site à Rex. En outre, la pente élevée écarte la faisabilité de mise en œuvre d'autres techniques du génie végétal.

## PRÉSIDENT BRISSON (DÉCHARGE), COMMUNE MONT DORE ?

[Localisation de Président Brisson \(décharge\) sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Les photos de la Décharge mentionnée par Fonds Nickel ont été demandées le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	New
Id Ravine	PRESIDENT BRISSON (Decharge)
Situation	Faisabilité? A concevoir et réaliser
Lithologie / Formation superficielle	péridotites, + stériles?
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	Piste existante à proximité
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente de photos et d'informations supplémentaires. De nombreuses zones ont déjà été traitées par différentes techniques (par SIRAS) ; ce site serait plutôt à envisager comme site à Rex.

Photos de la Décharge mentionnée par Fonds Nickel demandées le 18/10/2021

***PORT ARTHUR, COMMUNE DE SARRAMÉA ?***

[Localisation de Port Arthur sur google maps](#)

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	Fonds Nickel
maîtrise d'œuvre	Aqua Terra
Entreprise	SIRAS
Id Ravine	Port Arthur
<b>Situation</b>	Travaux réalisés (amont), A compléter sur décharge?
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Décharge stérile
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	
<b>Exposition</b>	
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste réouverte (2018)
<b>Usage actuel des sols</b>	
<b>Usage passé des sols</b>	
<b>Autre commentaire utile</b>	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	Ouest
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m3/s)	
<b>Q2 DAVAR (m3/s)</b>	

## Diagnostic

Cette ravine semble présenter des caractéristiques qui ne sont pas compatibles avec la mise en œuvre des techniques du génie végétal :

- pente trop élevée (max 40% = 22 degrés)
- granulométrie trop élevée

## RAVINE FÉLIX, COMMUNE DE PAÏTA ?

[Localisation de Felix sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	
Id Ravine	Ravine Félix
Situation	Ravine évoluant en amont AEP
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	Piste existante,
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente d'informations supplémentaires.

## SAINTE MARIE NAKALE, COMMUNE DE THIO ?

[Localisation de Sainte Marie Nakale google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	New
Id Ravine	Sainte Marie (Nakale)
Situation	2 grosses ravines, Voir faisabilité intervention?
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	Piste réouverte (2018)
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	Est
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente de photos et d'informations supplémentaires.

## RAVINE TRAZY GUERIOUM, COMMUNE DE KONÉ ?

[Localisation de la ravine Trazy Gurioum sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel	
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE	
maîtrise d'ouvrage	Fonds Nickel	
maîtrise d'œuvre	Fonds Nickel avec enterprise	
Entreprise	Mathieu et Miguel	
Id Ravine	Ravine Trazy Guerioum	
Situation	Correction torrentielle à suivre	
Lithologie / Formation superficielle	Masse glissée, bloc + matrice	
Sols		
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)		
Altitude (m a.s.l.)		
Exposition		
Topographie		
Climat		
Précipitations annuelles (mm/an)		
Mois les plus pluvieux		
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )		
Accessibilité	Koné + Piste propriété privée + marche (selon végétation sur piste)	
Usage actuel des sols		
Usage passé des sols		
Autre commentaire utile	Suils en gabions Ravine à blocs,	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)		0,3
région hydro	Ouest	
K DAVAR		55
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)		22
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)		4

### Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité

## SAINTE MARIE (ST PIERRE), COMMUNE DE THIO ?

[Localisation de Sainte Marie \(St Pierre\) sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment. Photos demandées par DS au Fonds Nickel le 18/10/2021.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	New
Id Ravine	Sainte Marie (St Pierre)
Situation	Grosse ravine, Voir faisabilité intervention?
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	Piste réouverte (2018)
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	Est
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

En attente de photos et d'informations supplémentaires.

## **SMT JEANINE, COMMUNE DE LA POYA SUD ?**

[Localisation de SMT JEANINE sur google maps](#)

### **Photos**

Pas de photos pour le moment.

### **Descriptif**

Entité Proposante :	DIMENC/SMC
Nom du rédacteur :	Olivier MONGI
maîtrise d'ouvrage	
maîtrise d'œuvre	
Entreprise	New
Id Ravine	SMT JEANINE
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	
<b>Exposition</b>	
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	
<b>Usage actuel des sols</b>	
<b>Usage passé des sols</b>	
<b>Autre commentaire utile</b>	Sujet SMC
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
<b>Q2 DAVAR (m<sup>3</sup>/s)</b>	

### **Diagnostic**

En attente de photos et d'informations supplémentaires.

## SMGN VULCAIN (COOK), COMMUNE DE LA TONTOUTA ?

[Localisation de SMGN Vulcain \(Cook\) sur google maps](#)

### Photos

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fond
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	SMGM
maîtrise d'œuvre	Ecosysmine
Entreprise	SIRAS
Id Ravine	SMGM Vulcain (Cook)
Situation	Evaluer, compléter
Lithologie / Formation superficielle	
Sols	
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)	
Altitude (m a.s.l.)	
Exposition	
Topographie	
Climat	
Précipitations annuelles (mm/an)	
Mois les plus pluvieux	
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )	
Accessibilité	
Usage actuel des sols	
Usage passé des sols	
Autre commentaire utile	Sujet SMC
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	

### Diagnostic

Ce site n'est plus une ravine candidate car plusieurs ouvrages y ont déjà été installés (par SIRAS) ; il est donc à appréhender comme site à ReX pour lequel nous disposons de photos. NMC (voir ci-après) a également proposé ce site (est-ce le même site quand même, y a-t-il 2 compagnie minière intervenante ?).

## **SOCAMIFER, COMMUNE DE MONT DORE ?**

[Localisation de SOCAMIFER Prony lavaka sur google maps](#)

[Localisation de SOCAMIFER Prony ravine sur google maps](#)

### **Photos**

Pas de photos pour le moment.

### **Descriptif**

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE
maîtrise d'ouvrage	Fonds Nickel
maîtrise d'œuvre	GéoImpact
Entreprise	SIRAS
Id Ravine	SOCAMIFER
<b>Situation</b>	Travaux partiel s(seuils bois) A compléter et
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Laterites
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	
<b>Exposition</b>	
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste existante
<b>Usage actuel des sols</b>	
<b>Usage passé des sols</b>	
<b>Autre commentaire utile</b>	
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)	
région hydro	Sud
K DAVAR	
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)	
<b>Q2 DAVAR (m<sup>3</sup>/s)</b>	

### **Diagnostic**

En attente de photos et d'informations supplémentaires. Plusieurs zones déjà traitées avec seuils bois par SIRAS Pacifique. Ce site serait plutôt à appréhender comme un site à ReX.

## TAO3, COMMUNE DE LA POYA NORD

[Localisation de la ravine TAO3 sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment.

### Descriptif

Entité Proposante :	DIMENC/SMC et Fonds Nickel	
Nom du rédacteur :	Olivier MONGE	
maîtrise d'ouvrage	Fonds Nickel	
maîtrise d'œuvre	Guillaume	
Entreprise	SIRAS	
Id Ravine	TAO3	
Situation	Travaux réalisés : à compléter évaluer	
Lithologie / Formation superficielle		
Sols		
Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)		
Altitude (m a.s.l.)		
Exposition		
Topographie		
Climat		
Précipitations annuelles (mm/an)		
Mois les plus pluvieux		
Densité moyenne de ravines (km/km <sup>2</sup> )		
Accessibilité	Accès à pied (<1h)	
Usage actuel des sols		
Usage passé des sols		
Autre commentaire utile		
Surface drainée (km <sup>2</sup> , RHC)		
région hydro	Ouest	
K DAVAR		55
Q100 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)		0
Q2 DAVAR (m <sup>3</sup> /s)		0

### Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité.

**ECOSOPHY**

**AMN3 – MINE AMN3 – COMMUNE NÉS**

**Photos**





## Descriptif

Entité Proposante :	<i>ECOSOPHY</i>
Nom du rédacteur :	<i>Thomas GAILLARD</i>
Id Ravine	Ravine 1
<b>Situation</b>	Népoui (X: 306570; Y: 330000)
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Saprolitique, avec blocs de péridotite
<b>Sols</b>	fortement lessivés
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Largeur : 10m max. Dénivelé : 250m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	450m
<b>Exposition</b>	Nord-Ouest
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1960 mm/an (entre 2008 et 2017) données Station du Kopéto
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - Février - Mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste menant aux mines AMN3 et SURPRISE
<b>Usage actuel des sols</b>	Site isolé de toute activité humaine
<b>Usage passé des sols</b>	usage minier dans les années 1950
<b>Autre commentaire utile</b>	Mine AMN3 en cours de réhabilitation par le Fonds Nickel (SIRAS Pacifique = entreprise mandatée pour les travaux de réhabilitation)

## Diagnostic

Cette ravine semble présenter des caractéristiques qui ne sont pas compatibles avec la mise en œuvre des techniques du génie végétal :

- pente trop élevée (max 40% = 22 degrés).
- granulométrie trop élevée

## **RAVINE 2 – N'GO – CARRIÈRE BASSE**

### **Photos**

Pas de photos pour le moment.

## Descriptif

Entité Proposante :	NMC
Nom du rédacteur :	Margaux Lussignol Département permitting et environnement
Id Ravine	Ravine 2
<b>Situation</b>	N'Go (carrière basse)
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Lit de type substratum rocheux et parois de type saprolite
<b>Sols</b>	à définir selon carte géol
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	1 ravine de 1680 m <sup>2</sup> 1 ravine de 4450 m <sup>2</sup> (environ)
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	90 à 20 m
<b>Exposition</b>	Sud
<b>Topographie</b>	
<b>Climat</b>	Sud
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	
<b>Mois les plus pluvieux</b>	
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Peu accessible en terrestre
<b>Usage actuel des sols</b>	travaux de fermeture
<b>Usage passé des sols</b>	exploitation
<b>Autre commentaire utile</b>	2 ravines qui semblent stabilisées depuis plusieurs années

## Diagnostic

En attente des photos. Quoi qu'il en soit, le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité.

### NMC - NICKEL MINING COMPANY

#### RAVINE COOK – MINE PINPIN – COMMUNE POYA

[Localisation de la ravine Cook sur google maps](#)

### Photos

Pas de photos pour le moment.

## Descriptif

Caractéristiques		Ravine Cook
Situation	Commune	Poya
	Mine (entreprise titulaire de concession)	Pinpin (Nickel Minig Company)
	Coordonnées GPS du centre de la ravine Lat (RGNC 1991-93 / Lambert NC) : Lon (RGNC 1991-93 / Lambert NC) :	324 605,79 311 955,50
Altitude	(m a.s.l.)	100 à 600
Accessibilité		En véhicule 4x4 - par la mine Pinpin pour la partie la plus amont - par la propriété Newland pour les autres parties
Sécurisation foncière		OK (concession minière NMC)
Lithologie / Formation superficielle		Latérites rouges
Sols	Induration	Variable
	% de terre fine	<b>A vérifier</b>
	Pierrosité majeure	<b>A vérifier</b>
	Profondeur	Variable
Dimensions	Largeur moyenne (m)	7
	Longueur (m)	1200
	Surface 3D (m <sup>2</sup> )	<b>Cf. NMC</b>
	Dénivelé (m)	8 à 145
	Pente	0 à 60°
Topographie		Disponible (NMC)
Climat	Précipitations annuelles (mm/an)	<b>Cf. NMC</b>
	Mois les plus pluvieux	<b>Cf. NMC</b>
Exposition		?
Densité moyenne de ravines	(km/km <sup>2</sup> )	Non applicable
Usage actuel des sols		Aucun
Usage passé des sols		Aucun
Milieu environnant	Nature de l'écosystème	Maquis arbustif
	Distance par rapport à la ravine (m)	0
Ouvrages de génie écologique		<b>Année 1 :</b> Remodelage talus et lit de ravine (4 080 m <sup>2</sup> ) Seuils en bois (13) Filtres ballots de paille (3) Fascines de branchages (44 mL) Géofilet (3 224 m <sup>2</sup> ) Plantation (1 732) Semis hydraulique (421 m <sup>2</sup> ) Semis à sec (3 224 m <sup>2</sup> )
		<b>Année 2 :</b> Remodelage talus et lit de ravine (5 868 m <sup>2</sup> ) Seuils en bois (13) Fascines de branchages (560 mL) Géofilet (369 m <sup>2</sup> ) Plantation (865) Semis à sec (369 m <sup>2</sup> ) Cordons de pierres (400 mL) Fertilisation (2 489 m <sup>2</sup> )
		<b>Année 3 :</b> Plantation (247) Semis hydraulique (1 400 m <sup>2</sup> )

## Diagnostic

Ce site n'est plus une ravine candidate car plusieurs ouvrages y ont déjà été installés (par SIRAS) et doit être appréhender comme un site à Rex pour lequel nous disposons de photos.

**PROVINCE SUD**

***AUTRE RAVINE VISITÉE PAR SIRAS PACIFIQUE « ENTRÉE DU PARC »***

**Photos**





### **Descriptif**

Pas de descriptif.

### **Diagnostic**

Cette ravine semble présenter des caractéristiques qui ne sont pas compatibles avec la mise en œuvre des techniques du génie végétal :

- pente trop élevée (max 40% = 22 degrés).
- dimensions ?

**AUTRE RAVINE VISITÉE PAR SIRAS PACIFIQUE « RAVINES AVEC PL T. BOUACOU »**

**Photos**





### **Descriptif**

Pas de descriptif.

### **Diagnostic**

De nombreuses plantations ont été réalisées sur ce site, dans les ravines et autour.

La ravine sur la dernière photo semble trop pentue pour les techniques du génie végétal.

**SMT – SOCIÉTÉ DES MINES DE LA TONTOUTA**

***MAMELON 14, MINE NAKETY, COMMUNE DE CANALA***

**Photos**







## Descriptif

Entité Proposante :	<i>Société des Mines de la Tontouta</i>
Nom du rédacteur :	<i>Service environnement SMT</i>
Id Ravine	Ravine 1
<b>Situation</b>	Mamelon 14, Nakety, Commune de Canala
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Latérite rouge et jaune
<b>Sols</b>	Ultramafique
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	largeur 23 m en tête, longueur 120 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	399 m (tête de ravine)
<b>Exposition</b>	Nord / Sud Est
<b>Topographie</b>	Pente forte
<b>Climat</b>	Tempéré de type tropical océanique
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1371
<b>Mois les plus pluvieux</b>	janvier à mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	Faible (2 ravines dans la zone)
<b>Accessibilité</b>	Moyenne (approche à 100m en véhicule, ensuite à pied)
<b>Usage actuel des sols</b>	Aucun mais sur concession minière
<b>Usage passé des sols</b>	Aucun mais sur concession minière
<b>Autre commentaire utile</b>	

## Diagnostic

Sur la première photo, on observe une ravine en forme de « cirque » avec des parois abruptes (confirmé par le descriptif). Les trois autres photos sont récemment envoyées par SIRAS Pacifique et on a du mal à les relier à la première (partie haute, plus plane ?)...

Cette ravine semble présenter des caractéristiques qui ne sont pas compatibles avec la mise en œuvre des techniques du génie végétal : pente trop élevée (max 40% = 22 degrés)

**WWF**

***RAVINE 1, COMMUNE DE DUMBÉA***

[Localisation de la ravine 1 sur google maps](#)

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	WWF
Nom du rédacteur :	Emma DO KHAC
Id Ravine	Ravine 1
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Amont : Harzburgites Aval : Formations de pente à débris ferrugineux
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Longueur : 916 m Largeur : 5 à 10 m Dénivelé : 280 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	150 m à 430 m
<b>Exposition</b>	Est
<b>Topographie</b>	Pente moyenne = 30%
<b>Climat</b>	Semi-tropical
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1750 à 2000 mm/an
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - février - mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste amenant à 740m du pied de la ravine ; Sinon hélicoptage
<b>Usage actuel des sols</b>	Réserve naturelle intégrale
<b>Usage passé des sols</b>	Non défini
<b>Autre commentaire utile</b>	Accès nécessitant de traverser la rivière + remonté sur quelques centaines de mètres

## Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité

***RAVINE 2, COMMUNE DE DUMBÉA***

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	WWF
Nom du rédacteur :	Emma DO KHAC
Id Ravine	Ravine 2
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Péridotites indifférenciées
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Longueur : 520 m Largeur : 3 à 7 m Dénivelé : 320 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	50 m à 370 m
<b>Exposition</b>	Ouest
<b>Topographie</b>	Pente moyenne = 60%
<b>Climat</b>	Semi-tropical
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1500 à 1750 mm/an
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - février - mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste utilisable
<b>Usage actuel des sols</b>	Parc provincial - Réhabilitation minière en cours (Fonds Nickel)
<b>Usage passé des sols</b>	Exploitation minière
<b>Autre commentaire utile</b>	Piste rénovée par le Fonds Nickel. Intersecte la ravine en question.

## Diagnostic

Cette ravine présente une forte pente moyenne (60%) qui exclue la mise en place de seuils en bois à végétaliser dans son lit ou de toute autre technique.

***RAVINE 3, COMMUNE DE DUMBÉA***

[Localisation de la ravine 3 sur google maps](#)

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	WWF
Nom du rédacteur :	Emma DO KHAC
Id Ravine	Ravine 3
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Amont : Harzburgites Aval : Alluvions anciennes associées à une altération ferrugineuse
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Longueur : 406 m Largeur : inférieur à 5 m Dénivelé : 230 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	80 m à 310 m
<b>Exposition</b>	Nord-est
<b>Topographie</b>	Pente moyenne = 56%
<b>Climat</b>	Semi-tropical
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1500 à 1750 mm/an
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - février - mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste utilisable
<b>Usage actuel des sols</b>	Parc provincial
<b>Usage passé des sols</b>	Non défini
<b>Autre commentaire utile</b>	Très facile d'accès, située en aval du barrage de la Dumbéa

## Diagnostic

Cette ravine au profil en travers rectiligne présente une forte pente moyenne (60%) qui exclue la mise en place de seuils en bois à végétaliser dans son lit ou de toute autre technique.

***RAVINE 4, COMMUNE DE DUMBÉA***

[Localisation de la ravine 4 sur google maps](#)

**Photos**



## Descriptif

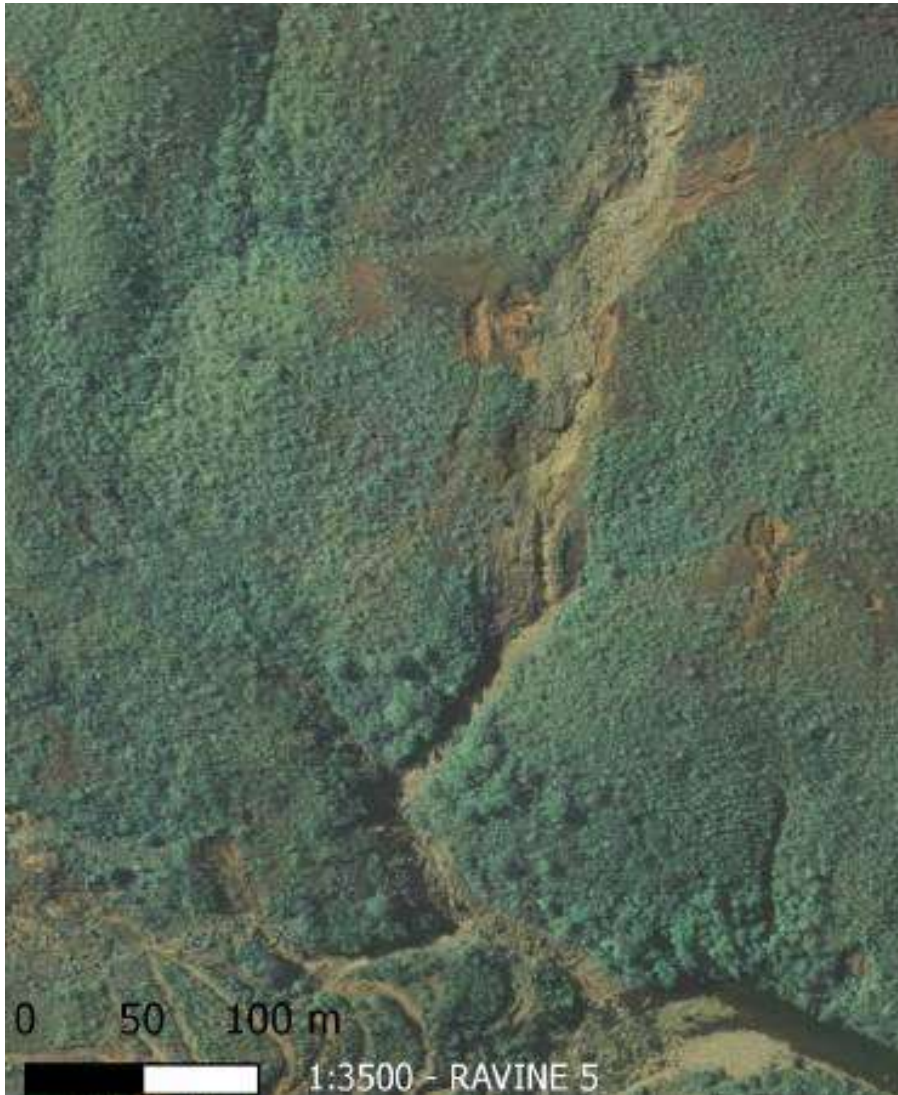
Entité Proposante :	WWF
Nom du rédacteur :	Emma DO KHAC
Id Ravine	Ravine 4
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Amont : Péridotites indifférenciées Aval : Formations de pente à débris ferrugineux
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Longueur : 740 m Largeur : 10 à 15 m en partie amont, inférieure à 5 m au plus étroit Dénivelé : 260 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	150 m à 410 m
<b>Exposition</b>	Nord / nord-ouest
<b>Topographie</b>	Pente moyenne = 35%
<b>Climat</b>	Semi-tropical
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1750 à 2000 mm/an
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - février - mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste potentielle jusqu'au pied de la ravine (à vérifier sur le terrain)
<b>Usage actuel des sols</b>	Réserve naturelle intégrale
<b>Usage passé des sols</b>	Non défini
<b>Autre commentaire utile</b>	L'accès au pied nécessite de franchir la rivière. Une zone nue de faible pente peut également accueillir un hélicoptère

## Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité.

***RAVINE 5, COMMUNE DE DUMBÉA***

**Photos**



## Descriptif

Entité Proposante :	WWF
Nom du rédacteur :	Emma DO KHAC
Id Ravine	Ravine 5
<b>Situation</b>	
<b>Lithologie / Formation superficielle</b>	Péridotites indifférenciées
<b>Sols</b>	
<b>Dimensions (largeur, dénivelée ou surface)</b>	Longueur : 500 m Largeur : 10 m Dénivelé : 200 m
<b>Altitude (m a.s.l.)</b>	180 m à 280 m
<b>Exposition</b>	Sud / sud-ouest
<b>Topographie</b>	Pente moyenne = 40%
<b>Climat</b>	Semi-tropical
<b>Précipitations annuelles (mm/an)</b>	1750 à 2000 mm/an
<b>Mois les plus pluvieux</b>	Janvier - février - mars
<b>Densité moyenne de ravines (km/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Accessibilité</b>	Piste très probablement à rénover, sinon hélicoptage
<b>Usage actuel des sols</b>	Réserve naturelle intégrale
<b>Usage passé des sols</b>	Exploitation minière
<b>Autre commentaire utile</b>	Tête de ravine très large

## Diagnostic

Le site n'est pas retenu en raison de sa faible accessibilité.

## ANNEXE 5

### Sites visités en novembre / décembre 2021

SOMMAIRE
----------

1.	DIMENC / SERVICE DES MINES ET CARRIÈRES ET FOND NICKEL	197
1.1.	<i>Coulée (PS) – La Coulée</i>	197
1.2.	<i>Olympia 1 – La Coulée</i>	206
1.3.	<i>Socamifer – Mont Dore</i>	211
1.4.	<i>Ravine Bel air 1 - Houailou</i>	223
1.5.	<i>Ravine Bel air 1 - Houailou</i>	226
2.	SMGM - SOCIÉTÉ MINIÈRE GEORGES MONTAGNAT	231
2.1.	<i>Ravine Vulcain</i>	231
3.	NMC – NICKEL MINING COMPAGNY	240
3.1.	<i>Lavaka « sous-marin » - Mont Dore</i>	240
4.	PROVINCE SUD - DDDT	243
4.1.	<i>Lavaka 1 - Parc de la rivière bleu</i>	245
4.2.	<i>Lavaka 2 - Parc de la rivière bleu</i>	248
4.3.	<i>Lavaka 3 - Parc de la rivière bleu</i>	250
4.4.	<i>Lavaka 4 - Parc de la rivière bleu</i>	252
5.	SMT - SOCIÉTÉ DES MINES DE LA TONTOUTA (GROUPE BALLANDE)	254
5.1.	<i>Lavaka à NAKETY</i>	254
5.2.	<i>Mine de KOPETO - Nepoui</i>	256

## 1. DIMENC / SERVICE DES MINES ET CARRIÈRES ET FOND NICKEL



Photo google maps 2022

Les deux sites visités sont situés de part et d'autre du cours d'eau « La coulée », l'un rive droite (La coulée PS), l'autre rive gauche (mine orpheline Olympia) sur le versant situé sous la mine (à préciser, voir avec Thomas Leborgne).

### **1.1. COULÉE (PS) – LA COULÉE**

Sur ce site, plusieurs types de travaux ont été menés. L'accès est aisé, depuis la piste quelques minutes à pied.

Un des versants en pente forte a été aménagé par une série de banquettes grillagées. Des plantations ont été menées entre les banquettes (date, espèces végétales ?). Malheureusement, nous n'avons pas eu accès à la date des travaux, ni à la liste des végétaux.



Photo déc. 2015



Photo nov. 2021



Photo nov. 2021

Encore bien en place, les banquettes montrent cependant à quelques endroits des dégradations (grillage vertical) ; il est incontestable que tous les éléments constitutifs des banquettes se détériorent avec le temps et qu'elles vont disparaître, les matériaux jusqu'ici retenus à l'amont seront alors remobilisés et emportés en pied de versant par les eaux de ruissellement.



Photo nov. 2021

Les plants ont été installés en recul de 1 à 2 mètres des atterrissements des banquettes, donc directement sur le versant, ce qui a vraisemblablement nécessité le creusement de trous de plantations (vérifier auprès de M. Etienne Waneissi – Province Sud). Les végétaux semblent ne pas avoir une forte croissance.



Photo nov. 2021

Afin de pérenniser les travaux déjà menés sur ce versant, nous proposons « d'upgrader » ces ouvrages de génie civil en ouvrages de génie végétal, en végétalisant les atterrissements : les travaux consistent en **l'installation de cordons de plants** disposés en recul de 10 à 15 cm du bord du grillage vertical ; la densité de plantations reste à définir en fonction des espèces utilisées, vraisemblablement au moins 3 à 5 unités par mètre linéaire. Plusieurs espèces végétales en mélange composeront ces cordons.

A la condition que ces travaux de végétalisation soient menés, ce site serait alors retenu dans le réseau de site de démonstration pour valoriser le savoir-faire en matière de banquettes grillagées végétalisées. Un suivi de l'installation et de la croissance des végétaux pourrait être particulièrement instructif ; ce site pourrait aussi éventuellement être le support d'un essai dont l'objectif serait de comparer le comportement d'individus mycorhizés en pépinière et d'individus non mycorhizés.



Photo déc. 2015

Des seuils en bois morts ont été réalisés à proximité en fond de ravine. Ils n'ont pas été observés en novembre 2021 mais pourraient néanmoins être intégrés dans le réseau de sites de démonstration, à **la condition de faire l'objet de travaux complémentaires d'implantation de matériel végétal**, si ceux-ci n'ont pas déjà été menés (voir photo suivante).



Photo déc. 2015

Sur ce type d'ouvrage, il s'agit de mettre en place (1) **des boutures en cordon le long des seuils** et (2) **des boutures en garnissage des atterrissements**. Les boutures adéquates n'étant pas (encore) disponibles en Nouvelle-Calédonie (voir chapitre sur le sujet), il sera aisément possible de statuer d'ici là sur l'intégration de ces ouvrages dans le réseau de sites de démonstration.

A proximité, d'autres travaux ont encore été menés, notamment des plantations sur versants, ainsi que la mise en place de quelques cordons de pierres et des boudins coco installés perpendiculairement à la pente.



Photo nov. 2021

Le versant planté présente une pente faible à modérée ; sa surface est en majeure partie indurée : la quasi-totalité de l'eau de pluie ruisselle ainsi en surface et ne profite que très peu aux végétaux plantés ; il subsiste effectivement au pied des individus une petite surface non indurée où l'eau peut pénétrer dans le terrain mais on peut observer que l'induration se « referme » parfois jusqu'aux troncs des végétaux. Ce phénomène explique pourquoi la recolonisation végétale du versant est inexistante à partir des individus plantés : les semences produites et dispersées dans le milieu ne trouvent pas de micro sites d'ancrage et sont systématiquement emportées par les eaux de ruissellement.

Il faut réfléchir à la faisabilité de venir briser l'induration de surface pour augmenter l'impluvium utile pour les végétaux en place et augmenter la potentialité de colonisation végétale.

Le taux de reprise toutes espèces confondues apparaît relativement élevé. Les croissances en hauteur et en diamètre sont néanmoins faibles, excepté pour *Gymostoma deplancheanum* (photo suivante) dont la hauteur avoisine les 3 à 4 mètres et le diamètre environ 10 cm.

Réfléchir à l'intérêt (la faisabilité est déjà confirmée) de venir ajouter au pied des individus plantés le produit Rhizotop® (complexe mycorhizien) afin d'améliorer leur croissance.



Photo nov. 2021

Au pied de ces arbustes de *Gymostoma deplancheanum* s'accumule une « litière » composée des feuilles mortes (écailles triangulaires). Les individus plantés bénéficient ainsi de tous les effets bénéfiques connus des mulchs de surface ; on observe également de jeunes pousses issues de la germination des semences (taux de germination de presque 50% en 15 jours en conditions contrôlées (L'HUILLIER et. Al., 2010). La relative homogénéité de taille des pousses (moins de 10 cm de haut pour les plus grands sujets) laisse néanmoins à penser que leur survie ne dépasse pas quelques saisons. Si le contraire était vrai, on pourrait observer plusieurs générations de plants à divers stades de développement.



Photo déc. 2015



Photo nov. 2021

La fonction recherchée par la mise en place des cordons de pierres interpelle sur ce versant. D'autant plus que des plants ont été mise en place en cordons à l'aval et en recul de 20 cm à 1 mètre des cordons de pierres.

Les atterrissements créés à l'amont des cordons de pierres présentent des volumes extrêmement faibles de matériaux, ce qui traduit la faible rétention des eaux de ruissellement par ces ouvrages et

ainsi les faibles dépôts de matériaux retenus. L'observation des végétaux à l'aval des cordons de pierres, plus développés que ceux situés juste en amont suggère de formuler l'hypothèse suivante : la présence de pierres sur le terrain empêche la fermeture de la croûte d'induration et permet ainsi à l'eau de ruissellement de s'infiltrer dans le terrain ; elle s'écoule ensuite dans le terrain (écoulement hypodermique) et bénéficie aux végétaux situés juste quelques décimètres à l'aval (ce processus d'écoulement de subsurface a déjà été décrit, par exemple sur sols battants altéritiques).



Photo déc. 2015



Photo nov. 2021

Entre 2015 et 2021, les boudins coco ont brûlé, ce qui n'a pas permis d'établir de constat quant à leur réussite.

### 1.2. OLYMPIA 1 – LA COULÉE



L'accès pédestre nécessite de traverser le cours d'eau (cheminement empierré dans le lit) puis de marcher une vingtaine de minutes environ.



Photo DIMENC oct. 2020



La ravine présente deux parties qui se différentient par leurs caractéristiques (pente et linéarité du profil en long, profil en travers, blocométrie).



Photo nov. 2021



Photo nov. 2021

La partie à l'amont présente un profil en long plus pentu et relativement linéaire. Le terrain est entaillé sur 5 à 8 mètres environ avec des parois abruptes, dans les latérites rouges, qui s'adoucissent dans les latérites jaunes ; globalement le lit est large et tapissé de nombreux blocs aux dimensions qui dépassent le mètre cube pour les plus gros. En crête, l'évasement est de 25 à 30 mètres, au plus large. La présence de végétaux qui s'installent sur les versants là où la pente diminue (dynamique de reconquête en cours) ainsi que les traces d'érosion laissées par les crues sur les versants indiquent que la hauteur des eaux lors des crues ne dépasse pas le mètre.

On observe également une érosion régressive sur les versants, avec la présence d'éboulements en pied et un effet « casquette » en crête.



Photo nov. 2021

Vouloir stopper ce phénomène apparaît difficile dans la mesure où il est généré par les eaux de ruissellement du massif qui courent à la surface du terrain induré, sous un couvert végétal dégradé suite au feu et donc trop peu développé et dense pour pouvoir jouer un rôle significatif.



Photo nov. 2021

La partie à l'aval présente un profil en long dont la pente est plus douce, et plus sinueuse. La hauteur de l'incision avoisine les 2 mètres en moyenne et diminue progressivement jusqu'à zéro en sortie de ravine dans la rivière. En crête, l'ouverture ne dépasse pas les 5 mètres. Le lit est plus étroit, parfois déjà en « U » avec beaucoup moins de blocs.

La mise en place de quelques seuils sur la partie aval pourrait permettre la création de quelques plages de dépôts conséquentes, autorisant l'implantation et le développement d'arbres et d'arbustes. Cette intervention aurait pour objectif de stopper la sortie des matériaux fins, qui à ce jour sont emportés dans La Coulée.

Avant de décider de ces travaux, il convient de vérifier leur pertinence en regard du type de figure d'érosion concerné (voir avec Véronique Forlacroix).

En outre, la DIMENC indique pouvoir gérer le volume d'eau qui passe dans la ravine, en l'envoyant, depuis la mine, dans le talweg naturel de dissipation. En cas de travaux de génie végétal réalisés dans le lit de cette ravine, il conviendra de ne pas complètement stopper l'écoulement.

### **1.3. SOCAMIFER – MONT DORE**

Deux ravines pourraient être retenues pour le réseau de sites de démonstration, sous conditions.



Photo Google maps 2022

### 1.3.1. Ravine 1



Photo Google maps 2022

Cette ravine présente un profil en travers linéaire, avec une tête plus large et un rétrécissement progressif vers l'aval. La pente du profil en travers est compatible avec la mise en place de la technique de génie végétal appropriée dans cette situation, à savoir une succession de seuils en bois mort à végétaliser. En outre, la ravine draine un impluvium amont, composé d'anciennes pistes et de surfaces à nue où les eaux de ruissellement sont partiellement canalisées.

La ravine est accessible en quelques minutes à pied depuis la piste.



Photo Google maps 2022 – bassin versant à l’amont



Photo nov. 2021 – tête de ravine vue depuis l’amont



Photo nov. 2021

La ravine a fait l'objet de travaux mi-2018 par SIRAS Pacifique à la demande de la DIMENC. Quelques seuils en bois morts ont été installés, d'une hauteur de 6 à 8 rangées de rondins pour les plus hauts et de 3 rangées pour les plus bas.



Photo nov. 2021

Les seuils ont été entaillés de déversoirs étroits (50 cm de large environ) et d'une hauteur de 2 rangées de rondins, parfois 3.



Photo nov. 2021

Les atterrissements ont atteint la hauteur maximale autorisée par le niveau bas des déversoirs à l'amont de tous les seuils : le potentiel maximum de rétention des matériaux a ainsi été obtenu après environ 2 ans. La fermeture des déversoirs permettrait d'augmenter encore significativement (1) le volume de matériaux retenus à l'amont des seuils, (2) le volume d'eau piégé dans ces matériaux et par conséquent de proposer des conditions d'implantation bien plus favorables encore aux végétaux à installer.

En effet, sur ce type d'ouvrage, il s'agit maintenant de mettre en place (1) **des boutures en cordon le long des seuils** et (2) **des boutures en garnissage des atterrissements**. Les boutures adéquates n'étant pas (encore) disponibles en Nouvelle-Calédonie (voir chapitre sur le sujet), la fermeture des déversoirs peut tout à fait être engagée avec l'objectif que les atterrissements maximums seront obtenus d'ici à ce que les boutures soient disponibles.

Il peut être envisagé de végétaliser cette ravine à titre expérimental : tests sur les espèces les plus adaptées, tests de divers diamètres des boutures, de diverses densités d'implantation.



Photo nov. 2021

S'agissant de constituer un réseau de sites de démonstration du savoir-faire en génie végétal, retenir cette ravine pourrait présenter un inconvénient : en effet, les rondins de bois employés sont de qualité médiocre, le traitement fongique du bois n'a pas été correctement mené et les bois sont déjà en cours de détérioration (le fournisseur des rondins a fermé boutique quelques temps après la livraison). La fermeture des déversoirs pourrait être l'occasion de remplacer tous les bois non ensevelis ainsi que les rondins de soutènement défectueux (ou de les doubler par des rondins de bonne qualité).

La stratégie globale des techniques du génie végétal intègre le fait que les structures non vivantes employées ont une fonction provisoire permettant notamment de faciliter l'implantation d'un matériel végétal. C'est ce dernier qui assure à terme la fonction antiérosive et de stabilisation des terrains.

L'enjeu de retenir cette ravine repose ainsi sur le fait de parier que les seuils en bois tiendront suffisamment longtemps le temps que le matériel végétal implanté se soit bien développé... La fermeture des déversoirs par un doublement avec des bois de qualité du côté amont permettrait vraisemblablement d'améliorer la durée de vie de ces seuils.

### 1.3.2. Ravine 2



Photo Google maps 2022

Cette ravine présente un profil en travers globalement linéaire, excepté un coude à presque 90 degrés après son premier quart. La pente du profil en travers est compatible avec la mise en place de la technique de génie végétal appropriée dans cette situation, à savoir une succession de seuils en bois mort à végétaliser.

Située en bord de piste, la ravine est on ne peut plus facile d'accès.



Photo nov. 2021

La ravine draine un impluvium difficile à circoncire sur le terrain. A l'amont, un fossé collecteur jette les eaux de ruissellement dans la ravine ; à la jonction des enrochements ont été placés afin de limiter les désordres que pourraient causer cette concentration d'eau dans la ravine.



La ravine est très entaillée dans le terrain : au plus profond, le lit de la ravine doit se trouver à environ 8 mètres du bord et les parois sont parfois presque verticales.

La ravine a fait l'objet de travaux mi-2018 par SIRAS Pacifique à la demande de la DIMENC. Une série de seuils en bois morts a été installée, d'une hauteur maximum de 8 rangées de rondins.





Photos nov. 2021

A l'instar de la ravine 1, des déversoirs d'une largeur de 50 à 80 cm et d'une hauteur de 2 rondins ont été taillés en sommet des seuils. Ces derniers sont ainsi remplis au maximum de ce que les déversoirs autorisent ; dans la partie aval de la ravine, les atterrissements des seuils remontent jusqu'au pied du seuil amont, ce qui atteste du positionnement adapté des seuils entre eux.



Photo nov. 2021

Ici aussi, la fermeture des déversoirs permettrait de retenir des volumes bien plus importants de matériaux, vraisemblablement des dizaines de m<sup>3</sup>.

En outre, l'important encaissement du lit de la ravine autorise à envisager la mise en place d'une deuxième série de seuils, « par-dessus » la première série. L'objectif étant (1) de retenir plus de 2 fois plus de matériaux d'érosion (en fait plus que 2 fois car la « largeur » de la ravine augmente avec l'altitude), (2) constituer des conditions d'implantation encore meilleures pour le futur matériel végétal, notamment une profondeur doublée de terrain meuble et facilement prospectable par les racines (jusqu'à 2 mètres), un volume d'eau dans les atterrissements lui aussi grandement augmenté ainsi qu'un relevage du niveau « zéro » du terrain dans lequel seront installés les végétaux ; ils bénéficieront ainsi d'un niveau d'ensoleillement plus important et donc potentiellement d'un meilleur développement.

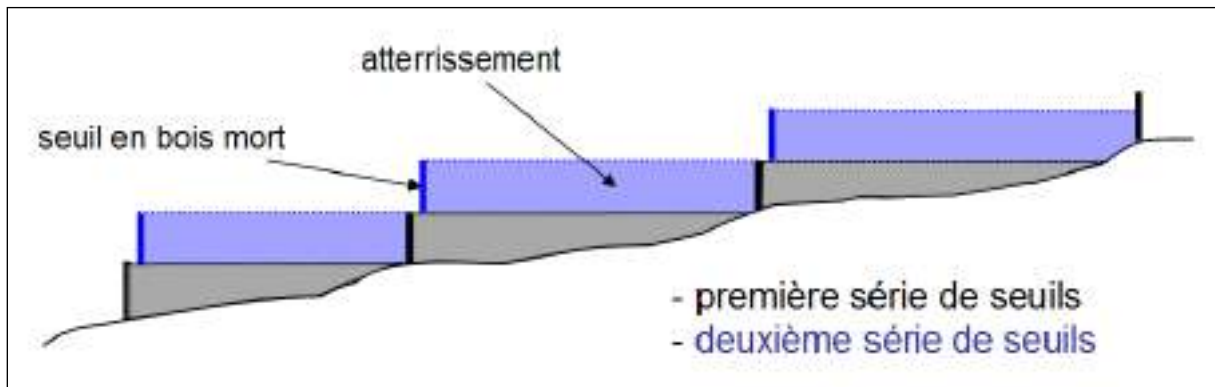


Schéma de principe (coupe en long) d'une deuxième série de seuils mis en œuvre « par-dessus » une première série de seuils.



Photo nov. 2021

Quelques seuils ne jouent plus entièrement leur rôle « barrage » car ils sont maintenant contournés par l'eau sur un des côtés ; les 2 raisons explicatives (peut-être même cumulatives) de ce phénomène sont d'une part une fragilité excessive à cet endroit due à un creusement des bords trop important lors des travaux pour pouvoir placer les rondins (ainsi qu'un rebouchage moins « performant »), et d'autre part, le tourbillonnement hydraulique causé par la présence du déversoir, en fonction de son

envergure et de l'orientation du seuil par rapport à l'écoulement des eaux (lorsque celle-ci n'est pas perpendiculaire au sens d'écoulement).



Photo nov. 2021

Ici aussi, la qualité du bois utilisé est la même que pour la ravine 1 et certains rondins sont détériorés. Cet aspect ne revêt néanmoins que peu d'importance si la deuxième série de seuils est mise en place ; en effet, la position des nouveaux seuils sera judicieusement définie dans l'objectif d'optimiser au maximum les volumes supplémentaires de matériaux piégés mais aussi d'ensevelir les seuils de la première série (voir schéma de principe – coupe en travers) ci-dessus.

#### 1.4. RAVINE BEL AIR 1 - HOUAÏLOU



Photo google maps 2022

La ravine est facilement accessible, par le bas en quelques minutes à pied à partir de la piste (233 km de Nouéma, 3h06 de trajet, côte Est).



Photo nov. 2021

Le fond de la ravine est aménagé avec une succession de seuils en rondins de bois morts en 2020, d'une hauteur de 6 à 8 rangées de rondins. Les seuils sont tous entaillés d'un déversoir d'une hauteur de 2 rangées.



Photo nov. 2021

La largeur de ces déversoirs est ici parfois plus importante (1 à 1,5 mètres) que celle observée sur les autres sites ; en effet, le maître d'ouvrage/maître d'œuvre (Véronique Forlacroix) s'est rendu compte des inconvénients de la présence des déversoirs de faible largeur créant une concentration des écoulements, notamment (1) l'obligation d'empierrement le pied du seuil à l'aval pour le protéger de l'affouillement (le coût de fabrication est ainsi plus élevé) et (2) le fait que le remplissage des plages de dépôts à l'amont n'est pas optimum. A titre exploratoire la largeur des déversoirs a ainsi été augmentée pour rechercher une plus grande dispersion des écoulements lors des crues. Et c'est effectivement tout à fait l'effet voulu avec cette technique du génie végétal : plus les écoulements peuvent divaguer à l'amont du seuil (concentration minimale des eaux), plus les processus érosifs sont limités et plus les volumes des dépôts de matériaux sont importants.

Si l'on pousse le raisonnement jusqu'au bout, les déversoirs « disparaissent » ; et l'on peut considérer que les déversoirs sont de la largeur de la ravine, au niveau du rondin supérieur du seuil !



Photo nov. 2021

Tous les seuils sont remplis au maximum de ce que les déversoirs autorisent et de grandes quantités supplémentaires de matériaux peuvent encore être piégées et retenues, à la condition de fermer les déversoirs. Cette option est accueillie favorablement par le Fond Nickel, d'autant plus que le matériel végétal approprié (boutures) n'est pas (encore) disponible en Nouvelle-Calédonie ; d'ici là, la fermeture des déversoirs peut être programmée et les plages de dépôts se remplir. En outre les végétaux ultérieurement mis en place bénéficieront ainsi de conditions de vie améliorées, notamment une plus grande profondeur de terrain d'ancrage et prospectable par le système racinaire, de plus grands volumes d'eau retenus dans les plages de dépôts et disponibles pour les plantes.



Photo nov. 2021

A la sortie de la ravine, une plage de dépôt est spécifiquement aménagée pour recueillir les matériaux non retenus par les seuils. Ce site apparaît ainsi particulièrement indiqué pour pouvoir mener un suivi quantitatif de l'impact des seuils sur l'érosion. Des relevés topographiques réguliers de la plage de dépôt permettraient de quantifier l'érosion actuelle en cours, l'érosion après fermeture des déversoirs et enfin l'érosion après la mise en place de la végétation puis de son développement.

A condition de fermer les déversoirs, et de mener avec succès l'implantation de végétaux adaptés (boutures en cordons et en garnissage), ce site pourrait être intégré dans le réseau de sites de démonstration au titre de la technique « seuils en bois végétalisés ».

### ***1.5. RAVINE BEL AIR 1 - HOUAÏLOU***

En peu plus haut sur le versant, d'autres travaux ont été menés (dates ?).



Photo nov. 2021

6 rangées successives des fascines de branches mortes sont en place, perpendiculairement au sens d'écoulement. Le but recherché est de dissiper l'énergie des eaux de ruissellement et d'éviter ainsi le démarrage des processus d'érosion sur un terrain pentu, finement travaillé et dont la sensibilité à l'érosion superficielle est donc plus élevée. L'objectif apparaît atteint sur le court terme.



Photo nov. 2021

Néanmoins, la pérennité à long terme du dispositif est questionnée, en l'absence de végétation ; en l'état, les volumes de matériaux retenus à l'amont des fascines ne sont pas suffisants pour pouvoir compter sur une implantation spontanée suffisante de la végétation ou envisager une installation anthropique.



Photo nov. 2021

En tête de la ravine XX (voir Véronique Forlacroix), quelques cordons de pierres d'une hauteur de 50 cm environ, ont permis la rétention de volumes conséquents de matériaux à l'amont.



Photo nov. 2021

Les atterrissements qui se sont constitués autorisent maintenant la possibilité d'installer des boutures en cordons le long de la ligne de crête en pierre (première phase) et en garnissage sur la plage de dépôts (deuxième phase, à mener plus tard, en fonction de la reprise et du développement du cordon en crête). De petite envergure, de par le faible nombre de végétaux à implanter, ces travaux sont peu adaptés dans le cadre d'un marché public (procédures administratives importantes en regard de la demande) et de faible rentabilité pour une entreprise. Néanmoins, ils correspondent

très bien au type d'intervention que le Fond Nickel cherche à confier aux tribus afin de favoriser des activités lucratives locales et les bonnes relations.

A condition de mener avec succès l'implantation de végétaux adaptés (boutures), ce site pourrait être intégré dans le réseau de sites de démonstration au titre de la technique « cordons de pierres, végétalisés ».



Photo nov. 2021

Le bas de la ravine XX a été aménagé avec des seuils en rondins de bois morts. La pente du profil en long est parfois trop raide pour que ces seuils y soient vraiment appropriés (rappel : pente maximum du profil en long : 40% = 22 degrés).



Photo nov. 2021

Le positionnement (trop) « rapproché » du seuil par rapport au terrain à l'amont (du fait de la pente de la ravine), permet ici de faire la même observation que sur le site Vulcain : la plage de dépôts n'est pas assez grande et le tourbillonnement de l'écoulement est trop intense pour que le remplissage du seuil soit satisfaisant. Il n'est ainsi pas envisageable de venir planter du matériel végétal... la pérennité de l'ouvrage sur le long terme est compromise, à tout le moins très aléatoire.



Photo nov. 2021

Dans le même secteur, une autre ravine est aménagée d'une succession de seuils en rondins de bois morts avec déversoirs (hauteur : de 2 rangées de rondins, largeur de 50 à 70 cm environ). Les commentaires et conclusion sont identiques que précédemment : à condition de fermer les déversoirs, et de mener avec succès l'implantation de végétaux adaptés (boutures en cordons et en garnissage), ce site pourrait être intégré dans le réseau de sites de démonstration au titre de la technique « seuils en bois végétalisés ».

## 2. SMGM - SOCIÉTÉ MINIÈRE GEORGES MONTAGNAT

### 2.1. RAVINE VULCAIN

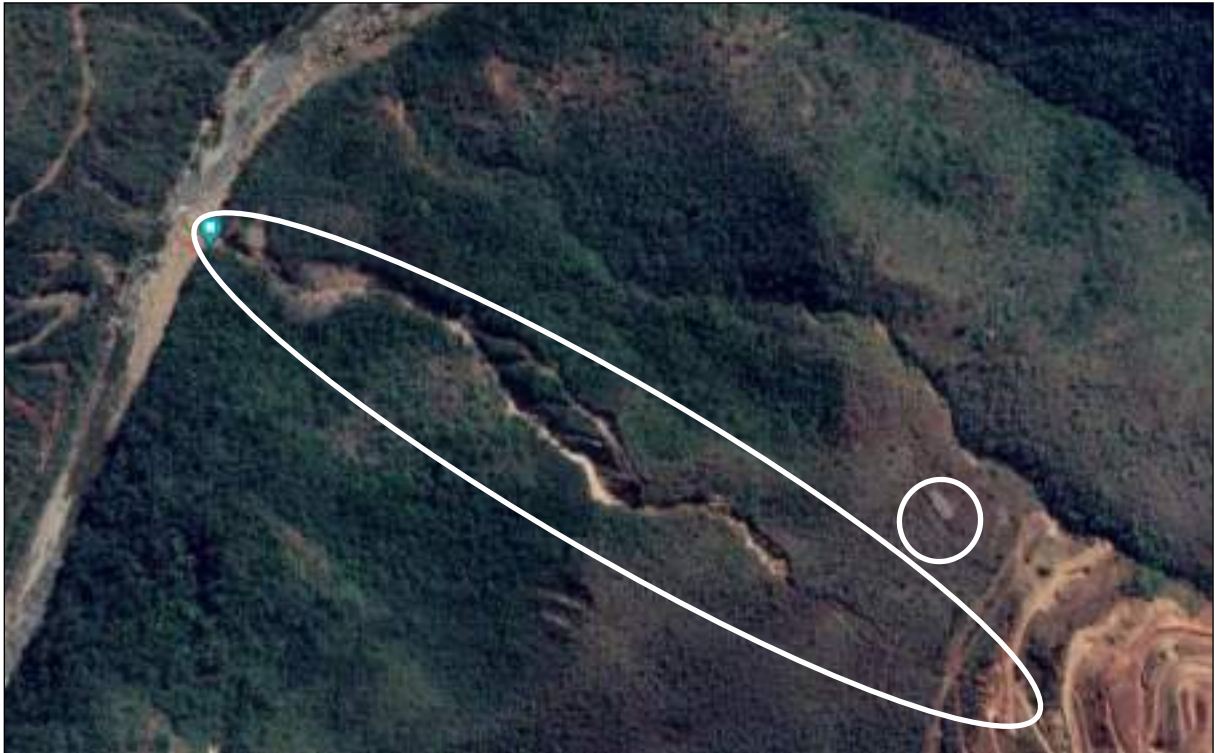


Photo google 2022

L'accès à la ravine se fait aisément par le haut (piste carrossable). La ravine présente trois parties : amont, médiane, aval. Des travaux ont été menés par SIRAS Pacifique en avril 2020 : reprofilage de la tête de ravine à la mini-pelle araignée, mise en place de seuils en bois mort, mise en place de fascines en bois mort; plantations en plein sur les zones propices, semis à sec dans la ravine, réalisation de seuils en blocs, plantation de cypéracées en cordons en pied de ravine.



Photo nov. 2021

**A l'amont**, l'incision dans le terrain ainsi que l'ouverture en crête sont de quelques mètres maximum. Les seuils sont constitués de 6 rangées de rondins en bois mort et présentent tous un déversoir d'une cinquantaine de centimètres de large environ.



Photo nov. 2021

Pour protéger le pied des seuils à l'aval, des empierrements sont systématiquement mis en place dans le but de dissiper l'énergie des eaux, que leur confèrent d'ailleurs les déversoirs (voir chapitre spécifique sur le sujet).



Phot nov. 2021

Quand la pente est conforme au standard, c'est-à-dire inférieure à 40% (22 degrés), la distance des seuils au terrain à l'amont est suffisante pour permettre la stagnation des eaux, le dépôt des sédiments et la constitution d'un atterrissement ; les volumes maximums de matériaux retenus autorisés par la présence des déversoirs sont ainsi régulièrement atteints.



Photo nov. 2021

Lorsque la pente du profil en travers de la ravine dépasse le standard (> 40%), il n'y a pas assez de recul entre le seuil et le terrain à l'amont pour qu'un atterrissement se constitue : le tourbillonnement des eaux d'écoulement lors des crues ne permet pas le plein remplissage du piège

(« auto curage »)... Par conséquent, il ne sera pas possible de venir implanter du matériel végétal et de pérenniser ainsi l'ensemble « seuil + atterrissement ». Ces situations doivent être évitées à l'avenir.



Photo nov. 2021

Sur cette partie amont, on observe parfois des rétrécissements de la ravine avec moins d'un mètre de profondeur et de largeur en crête : dans ces secteurs, des fascines de bois morts ont été mises en œuvre, en lieu et place des seuils en bois (pour rappel, les fascines sont des ouvrages destinés à la protection des versants avec faible contrainte hydraulique).



Photo nov. 2021

La constitution des atterrissements à l'amont de telles fascines est rare... la végétalisation ultérieure de ces zones ne sera pas possible. Lors de la visite, il est évoqué une contrainte d'enveloppe budgétaire à respecter en lien avec un nombre minimum d'ouvrages à réaliser. Il y a là une piste de réflexion à mener afin d'améliorer les pratiques et d'éviter cette situation.

Cette partie haute de la ravine Vulcain pourrait être retenue pour intégrer le réseau de sites de démonstration à condition de refermer les déversoirs (voir chapitre spécifique sur le sujet), de remplacer quelques fascines inappropriées par des seuils en rondins de bois morts et pour l'ensemble des ouvrages bois de bouturer en cordons et garnissage.



**La partie médiane** de la ravine Vulcain est beaucoup plus pentue. Elle incise le terrain sur plusieurs mètres de profondeur et l'ouverture en crête dépasse aisément les 10 mètres. Des seuils en blocs trouvés sur place ont été réalisés transversalement au sens d'écoulement.



Photo nov. 2022

A l'amont de seuils en blocs, les volumes de matériaux retenus sont « modérés », à tout le moins ne constituent pas (encore ?) les atterrissements suffisamment importants qui permettraient, après bouturage, de former en fond de la ravine des secteurs végétalisés susceptibles de jouer un rôle antiérosif significatif. Outre la durée pas assez longue depuis les travaux (+1,5 ans) qui pourrait expliquer le taux de remplissage (alors même que les seuils en bois morts, certes sur la partie haute de la ravine, sont eux totalement pleins), c'est vraisemblablement le caractère non totalement filtrant du piège qui peut être avancé. Il pourrait ainsi être opportun d'envisager l'amélioration de l'imperméabilité de ces seuils en blocs. La mise en œuvre d'un géotextile, de la même manière que pour les seuils en bois morts, pourrait être expérimentée...



Photo nov. 2021



Photo nov. 2021

A proximité de ces amas de blocs et sur plusieurs zones de versants, des plants ont été installés, au total 1865 individus, de 23 espèces, dont 555 plants de 4 Cypéracées (*Tetraria comosa*, *Lepidosperma perteres*, *Machaerina deplanchei* et *Schoenus neocaledonicus*), et encore, parmi les plus nombreux 175 plants d'*Alphitonia neocaledonica*, 125 plants de *Gymnostoma deplancheanum* et de *Tristaniopsis guillainii*, etc...



Photo jan. 2021

Une troisième et dernière partie de la ravine, la plus en aval, présente un profil en travers de faible pente ; des cordons de pierres d'une cinquantaine de centimètres de haut ont été installés perpendiculairement à l'écoulement.



Photo jan. 2021

Comme observés plus haut dans la ravine, ces obstacles restent relativement poreux et n'autorisent pas la constitution d'atterrissements à l'amont suffisants pour envisager un bouturage ; réfléchir ici

aussi à l'intérêt et la faisabilité d'améliorer l'imperméabilité de tels cordons (ceux déjà en place et/ou d'autres à venir).



Photo nov. 2021

A proximité de cette ravine Vulcain (à un peu moins de 100 mètres au nord de la partie haute), une zone a été plantée en avril/mai 2020 avec 135 jeunes individus de 10 à 25 plants de 6 espèces dont 1 Cypéracée (*Tetraria comosa*). La surface totale de la zone a fait l'objet d'un paillage, le matériau utilisé correspond à des déchets de tri (tiges herbacées principalement), issus du triage des lots bruts de collecte de semences de *Tetraria sp* ou de *Machaerina deplanchei*.

### 3. NMC – NICKEL MINING COMPAGNY

#### 3.1. LAVAKA « SOUS-MARIN » - MONT DORE



Photo Google Earth, 2022

L'accès au lavaka se fait aisément par le haut (piste carrossable).



Photo déc. 2021

Le lavaka est baptisé sur place « sous-marin » en rapport avec un élément de relief présent « au centre » de la figure d'érosion.



Photo déc. 2021

De forme sphérique (100m X 80m) et situé en partie sommitale du mont, il draine un impluvium limité, dont des surfaces à l'amont sont couvertes de maquis (le substrat est induré).



Photo déc. 2021

A proximité de l'exutoire, rétréci, pourrait être aménagé un seuil en bois à végétaliser, qui constituerait à l'amont une large plage de dépôt.

A divers endroits appropriés, quelques autres seuils à végétaliser, des fascines de bois vivant et des plantations en ilots pourraient venir compléter les mesures.



Photo déc. 2021

Des rigoles sont parfois en cours de fermeture par une végétation dense et diversifiée.

#### 4. PROVINCE SUD - DDDT



Photo Google maps 2022

Dans le parc provincial de la rivière bleue, les 4 lavaka visités sont situés le long de la route du Pont Pérignon et sont donc très facilement accessibles



Photo déc. 2021

Pour les gestionnaires du parc, l'enjeu est de limiter l'érosion régressive, qui génère le déplacement de grande quantité de sédiments et oblige le curage annuel des fossés et la réfection bisannuelle de la route.



Photo déc. 2021

De par son historique d'exploitation minière, l'ensemble du secteur fait l'objet d'un programme de plantation de la part de la société Prony Resources New Caledonia ; l'objectif est la mise en place de 100000 individus avec une fréquence de 10000 individus par an, à la densité de 1 plant / m<sup>2</sup>. Les travaux sont réalisés par SIRAS Pacifique et Sud Reboisement.



Photo déc. 2021

A cela s'ajoute des interventions à caractère pédagogique avec les écoles à partir de plants produit dans la pépinière locale du Parc (5000 plants par an environ).

#### **4.1. LAVAKA 1 - PARC DE LA RIVIÈRE BLEU**



Photo Google maps 2022



Photo déc. 2021

L'exutoire de cette figure d'érosion est relativement large (7 à 8 mètres) et présente rapidement des parois subverticales de 2 à 3 mètres de haut. On observe sur le fond, des dépôts qui sont repris en plus ou moins grande quantité en fonction de l'intensité des écoulements.



Photo déc. 2021

Sur sa première partie à l'aval, la ravine principale du lavaka entaille le terrain sur 4 à 5 mètres de profondeur pour une petite dizaine de mètres de large en crête. Il y a parfois des resserrments en fond de ravine, propice à la mise en place de seuils en bois mort à végétaliser, le profil en long étant tout à fait compatible avec cette technique (pente < 40%).



Photo déc. 2021 – vue amont de la piste

A mi-parcours, la ravine entaille une ancienne piste qui longe le flanc du coteau ; elle collecte ainsi les écoulements drainés par le « fossé », lui-même très érodé et producteur d'une grande quantité de matériaux.



Photo déc. 2021 – vue aval de la piste

La piste présente une surface en grande partie indurée, ce qui favorise le ruissellement, malgré la présence de nombreux végétaux plantés.



Photo déc. 2021

La partie haute du lavaka développe sa forme classique en feuille de chêne, avec à la fois des parties en cours d'érosion régressive (extension du lavaka) et des fonds de rigoles stabilisés par une végétation dense et diversifiée.

#### 4.2. LAVAKA 2 - PARC DE LA RIVIÈRE BLEU



Photo Google maps 2022



Photo déc. 2021

La majeure partie basse et intermédiaire de ce lavaka est maintenant couvert d'une végétation dense et diversifiée. La profondeur de la ravine principale est moins grande (2 à 3 mètres) ; le profil en travers est un « V » très aplati.



Photo déc. 2021

L'exutoire est quasiment masqué par la végétation en place. Est-ce que des matériaux érodés sortent encore de ce lavaka ?

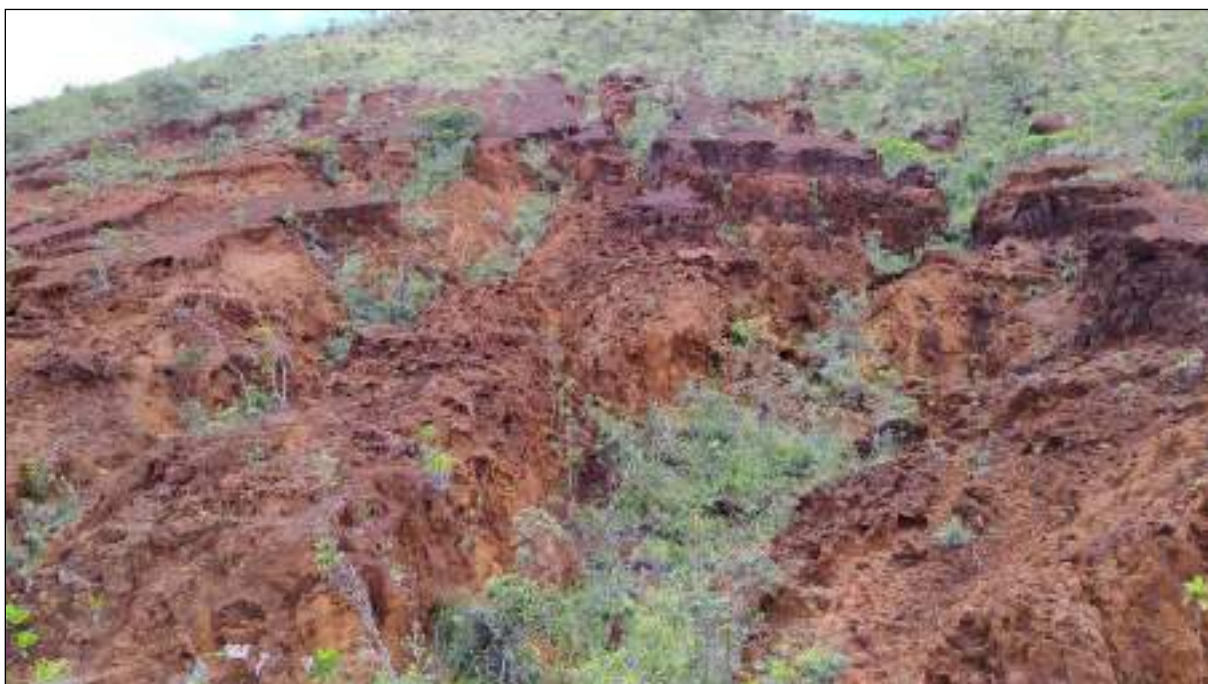


Photo déc. 2021

La partie haute est vraisemblablement encore en évolution avec des zones en cours d'érosion régressive (extension du lavaka) et des fonds de rigoles spontanément végétalisés.

### 4.3. LAVAKA 3 - PARC DE LA RIVIÈRE BLEU



Photo Google maps 2022



Photo déc. 2021

Il s'agit en fait de 3 lavaka proches les uns des autres, dont les axes principaux sont quasiment parallèles entre eux (un quatrième exutoire a été repéré lors de la visite). A l'amont, l'élargissement des feuilles de chêne amène à ce que les lavaka « partagent » des surfaces érodées.



Photo déc. 2021

Les exutoires et les parties basses entaillent le terrain de quelques mètres. Le profil en travers est en forme de « V » ouvert.



Photo déc. 2021

En crête, les parois subverticales sont présentes mais peu étendu (1 mètre environ). Le profil en long autorise la mise en place de seuils en bois mort à végétaliser.



Photo déc. 2021

Plusieurs secteurs à l'amont pourraient aussi être aménagés avec des fascines de fagots de bois vivant placées perpendiculairement au sens d'écoulement.

#### **4.4. LAVAKA 4 - PARC DE LA RIVIÈRE BLEU**



Photo Google maps 2022

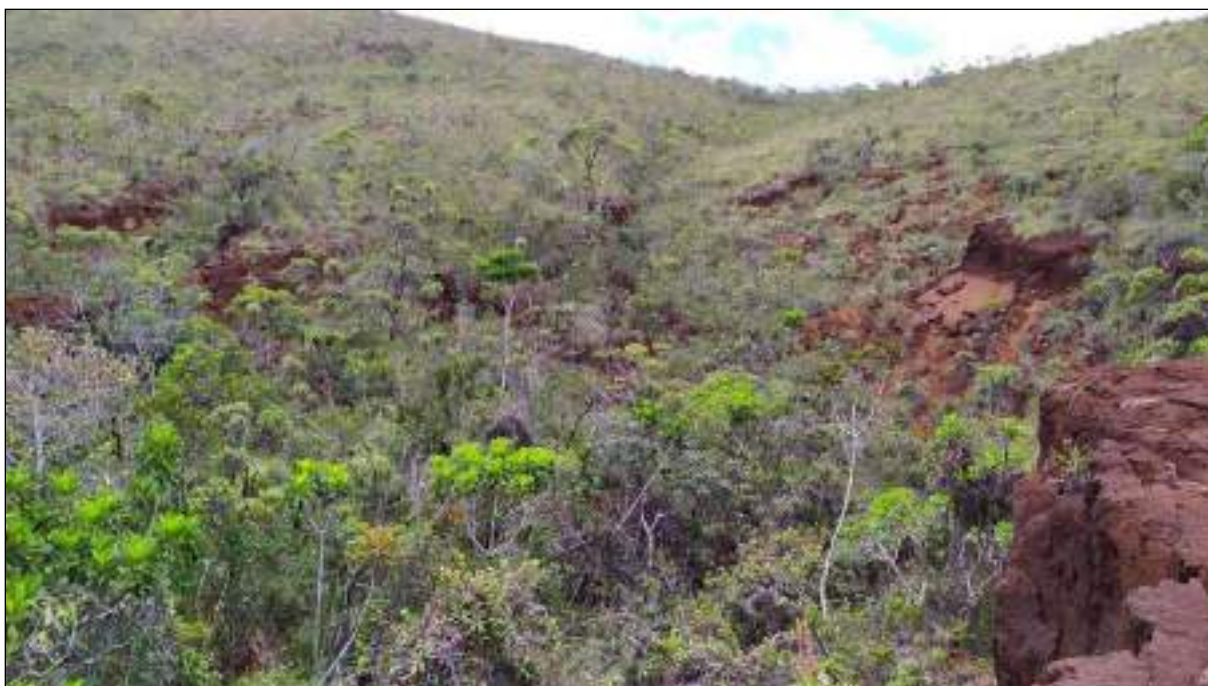


Photo déc. 2021

Comme dans le cas du lavaka n°2, ce site est en grande partie végétalisé par la végétation spontanée.



Photo déc. 2021

Il subsiste des secteurs ou les parois subverticales de la ravine principale sont marquées.



Photo déc. 2021

L'exutoire est à peine visible, tout au plus une rigole de moins de 50 cm de large et de 30 cm de haut. Ce lavaka exporte-t-il encore des matériaux érodés ?

En conclusion, 2 lavaka pourraient être intégrés dans le réseau de sites de démonstration, sous conditions de réaliser les travaux. Les techniques concernées seraient le seuil en bois mort à végétaliser et les fascines de fagots de bois vivant.

## 5. SMT - *SOCIÉTÉ* DES MINES DE LA TONTOUTA (GROUPE BALLANDE)

### 5.1. LAVAKA À NAKETY



Photo Google maps 2022

Le site est accessible à pied, par le haut ou le bas en une dizaine de minutes.



Photo nov. 2021

La figure d'érosion correspond à un lavaka. La pente du profil en travers est en moyenne de 100%, parfois localement plus encore.



Photo nov. 2021

En partie basse, le profil en travers est en « U », avec des parois subverticales de 3 mètres environ. Des blocs de 0,3 à 1 mètre de diamètre complète la granulométrie grossière constituées majoritairement par les blocs de ptéridotites (cuirasse). La trop forte pente couplée à la granulométrie grossière interdisent la mise en place de seuils en bois mort à végétaliser.



Photo nov. 2021

Sur la partie intermédiaire et haute du lavaka, le profil en travers est un « V » très aplati, on n'observe pas vraiment un fond de ravine marqué. Dans le but de dynamiser la reconquête végétale du terrain, l'intervention pourrait consister en la mise en place d'îlots de végétation, de quelques m<sup>2</sup> et constitués d'espèces ligneuses associées à des espèces herbacées.

## **5.2. MINE DE KOPETO - NEPOUI**

S'agissant de la technique de **l'ensemencement par projection hydraulique**, l'expérience acquise par SIRAS Pacifique est claire : compte tenu des principaux facteurs qui entrent en jeu (nature des terrains, climat, quantité de semences disponibles, les diverses stratégies germinatives des espèces utilisées (dormances), vitesse de croissance des plantes), le résultat d'une opération d'ensemencement s'apprécie avec pertinence au bout de plusieurs années ; en tout cas après un laps de temps beaucoup plus long que ceux dont on a l'habitude dans d'autres parties du monde, par exemple en métropole après 12 mois sous climat océanique et sur terre dite « végétale ».

Dès lors il apparaît judicieux d'apporter une dimension pédagogique spécifique à cette technique au sein du réseau de sites de démonstration. Nous proposons de retenir le site de KOPETO, certes au nord de l'île et à plusieurs heures de route de la capitale, mais qui présente l'avantage de pouvoir observer des secteurs ensemencés, à divers stades de développement.

Sur ce même site de KOPETO, nous proposons également de retenir un ou secteurs démonstratifs pour la technique de **plantation sur banquettes**.

Il conviendra de sélectionner les sites les plus pertinents parmi ceux visités lors de la tournée de novembre 2021, notamment en fonction de la connaissance la plus exhaustive possible de l'historique (nature des travaux réalisés, suivis intermédiaires dont photos... à voir avec SIRAS Pacifique).

**Verse Ballantine – semis en 2008/2009 (+ 14 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Versant Caltrac / Creek salé – semis en 2001/2002 et 2006/2007 (+21 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**« Cuvette » à plat – semis avec paille en 2006 (+ 16 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Talus Eglantine – semis en 2012 (+ 10 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Talus Eglantine – semis en 2020 (+ 2 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Versant Fuschia – semis en 2006 (+ 16 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Versant Bégonnia 3 – semis en 2004/2005 (+ 18 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Verse Joël – plantations sur banquettes avec topsoil + semis**



Photo nov. 2021

**Versant Bégonnia – plantations en 2004 (+ 18 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

**Versant Aubépine – plantations sur banquettes avec topsoil en 2008/2009 (+ 14 ans en 2022)**



Photo nov. 2021

## ANNEXE 6

### Les espèces végétales à potentiel de bouturage

SOMMAIRE
----------

1. LISTE 1 263
  - 1.1. *Alphitonia neocaledonica* (Bois savon, Kùà) 263
  - 1.2. *Erythrina variegata* var. *fastigiata* (Peuplier kanak) 264
  - 1.3. *Geissois pruinosa* (Geissois, Batcho) 265
  - 1.4. *Grevillea gillivrayi* (hêtre rouge / hêtre gris) 266
  - 1.5. *Gymnostoma deplancheanum* (Bois de fer du Sud) 267
  - 1.6. *Peripterygia marginata* 268
  - 1.7. *Xanthostemon multiflorus* 269
2. LISTE 2 270
  - 2.1. *Arillastrum gummiferum* (chêne gomme) 270
  - 2.2. *Casuarina collina* (bois de fer) 271
  - 2.3. *Codia discolor* 272
  - 2.4. *Cunonia macrophylla* (Balayette) 273
  - 2.5. *Hibiscus tiliaceus* (Bourao) 274
  - 2.6. *Myodocarpus fraxinifolius* 275
  - 2.7. *Pancheria alaternoides* 276
  - 2.8. *Sannantha leratii* 277
  - 2.9. *Xanthostemon aurantiacus* 278
  - 2.10. *Oxera neriifolia* 279
3. ESPÈCES ÉCARTÉES 280
  - 3.1. *Cordyline neocaledonia* 280
  - 3.2. *Joinvillea plicata* (roseau plissé) 280
  - 3.3. *Polyscias pancheri* 280

## 6. LISTE 1

### 6.1. ALPHITONIA NEOCALEDONICA (BOIS SAVON, KÙA)



Socamifer

2021 -



Par Scott Zona — originally posted to Flickr as *Alphitonia neocaledonica*, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5215705>

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 1 à 3

**Port** : mince et élancé

**Connaissances production** : croissance moyenne ; appétence forêt pour le cerf dans le maquis et zones de plantation

**Altitude** (mètres) : 0 -1000

**Distribution** : espèce endémique pionnière abondantes des maquis miniers

**Atout / point fort** : prolifération importante constatée de bactéries Frankia dans sa rhizosphère, qui pourrait ainsi faciliter l'installation ultérieure d'espèces du genre *Gymnostoma*, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

## 6.2. *ERYTHRINA VARIEGATA* VAR. *FASTIGIATA* (PEUPLIER KANAK)



Par Sanu N — Travail personnel, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61790735>



Whistler et Elevitch, 2006

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : entre 10 et 15, parfois jusqu'à 20

**Port** : arbre élancé

**Connaissances production** : l'arbre est planté sous forme de bouture (2 à 3 mètres de long et 5 à 10 cm de diamètre) pour faire des haies vives ou comme arbre ornemental ; des boutures plus petites peuvent être utilisées minimum 30 cm de long et 4/5 cm de diamètre ; croissance rapide dans des conditions favorables, avec une croissance de 1,5 à 3 m par an.

**Altitude** (mètres) : 250 jusqu'à 1500 (proche de l'équateur)

**Distribution** : originaire d'Asie et d'Océanie subtropicale et tropicale, naturalisée en Nouvelle-Calédonie (« peuplier kanak »)

**Atout / point fort** : espèce de la famille des Fabacées, fixatrice d'azote atmosphérique

### 6.3. *GEISSOIS PRUINOSA* (*GEISSOIS, BATCHO*)



Nov. 2021 - Socamifer



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 3 à 6, parfois jusqu'à 8

**Port** : élancé

**Connaissances production** : culture facile, bouturage possible, pas de maladies ni de ravageurs constatés.

**Altitude** (mètres) : 30 à 700

**Distribution** : espèce endémique, pionnière uniquement sur roches ultramafiques

**Atout / point fort** : faible appétence pour le cerf, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

#### 6.4. GREVILLEA GILLIVRAYI (HÊTRE ROUGE / HÊTRE GRIS)



1Nov. 2021 - Socamifer



1Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 10

**Port** : espèce assez polymorphe, grandes tiges, relativement fines

**Connaissances production** : supporte très bien la taille, même assez sévère, mais cela ne l'aide guère à former des arbustes très ramifiés. La multiplication de tête ou de tronçons de tige semi-ligneuse est aisée et nécessite de 2 à 3 mois pour un bon enracinement.

**Altitude** (mètres) : 0 -1000

**Distribution** : espèce endémique commune des maquis miniers

**Atout / point fort** : généralement peu endomycorhizée (MA, faible affinité)

## 6.5. GYMNOSTOMA DEPLANCHEANUM (BOIS DE FER DU SUD)



Nov. 2021 - Thiébagy



Nov. 2021 - Socamifer



Nov. 2021 - La Coulée (PS)

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 2 -15

**Port** : en milieu naturel, la forme des individus résulte des conditions (candélabre, parasol, « en nuage ») ; le port en culture est généralement conique ou en boule.

**Connaissances production** : des tailles peuvent être effectuées sur les jeunes plants ou les plants plus âgés. Le bouturage de rameaux semi-ligneux est possible. En pépinière leur croissance est modérée (10 cm en 1 an). Pas d'appétence en maquis, appétence moyenne en zones de plantations.

**Altitude** (mètres) : 0 -300 (600 ?)

**Distribution** : espèce endémique des maquis miniers et para forestiers.

**Atout / point fort** : espèce fixatrice d'azote (symbiose bactérienne à Frankia), production très importante de semences, production de litière qui reste en place au pied des individus.

## 6.6. PERIPTERYGIA MARGINATA



<https://floraoftheworld.org/flora/17592186247498>



<https://floraoftheworld.org/flora/17592186111793>

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 4

**Port** : élancé

**Connaissances production** : bouturage possible à partir de jeunes rameaux, difficulté moyenne, 65% de réussite après repotage à 60 jours

**Altitude** (mètres) : 0 à 1050

**Distribution** : espèce endémique, cantonnée aux maquis sur roches ultramafiques

**Atout / point fort** : grande amplitude écologique, espèce toxicorésistance au nickel, aptitude absorber sélectivement le calcium dans des sols excessivement pauvres en cet élément mais anormalement riches en magnésium et nickel (JAFFRE et RIGUAULT, 1989)



Rejets sur une branche cassée (L'Huillier et al., 2010)

## 6.7. XANTHOSTEMON MULTIFLORUS



<https://www.rarepalmseeds.com/fr/xanthostemon-multiflorus-fr>



<https://endemia.nc/flore/fiche1509>

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 30

**Port** : élancé

**Connaissances production** : ?

**Altitude** (mètres) : 0 à 600

**Distribution** : tous les massifs de roches ultramafiques, en maquis minier

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

## 7. LISTE 2

### 7.1. *ARILLASTRUM GUMMIFERUM* (CHÊNE GOMME)



Nov. 2021 – Socamifer



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 35 (en forêts humides)

**Port** : élancé

**Connaissances production** : en plantation sur des terrains non dégradés, on enregistre couramment des croissances de 50 cm de hauteur par an. Les essais de multiplication végétative (UNC), notamment par bouturage de rameaux n'ont pas donné de résultats satisfaisants (Gateblé, 2016)

**Altitude** (mètres) : 0 - 700

**Distribution** : endémique, inféodée aux terrains ultramafiques, dans le sud de l'île.

**Atout / point fort** : formation de litière au pied des individus

## 7.2. CASUARINA COLLINA (BOIS DE FER)



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 20

**Port** : droit et élancé

**Connaissances production** : pas d'appétence pour le cerf en maquis, affinité moyenne en zones de plantations

**Altitude** (mètres) : 0 - 500

**Distribution** : endémique, sur terrains miniers sur l'ensemble de la grande terre. Tendance à former des peuplements stables monospécifiques ; il semble prudent de ne l'utiliser que de manière limitée et uniquement dans les milieux où son extension peut être contrôlée.

**Atout / point fort** : symbiose avec des bactéries du genre Frankia

### 7.3. CODIA DISCOLOR



[https://www.flickr.com/photos/ben\\_caledonia/22513177625/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/ben_caledonia/22513177625/in/photostream/)



<https://endemia.nc/flore/fiche3545>

**Type** : arbuste / petit arbre

**Hauteur** (mètres) : ?

**Port** : tiges élancées

**Connaissances production** : plants forestiers produits en pépinières

**Altitude** (mètres) : 200 - 1000

**Distribution** : endémique, dans les maquis miniers et en forêt de basse à haute altitude

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité), pas d'appétence pour le cerf en maquis et zones de plantations

#### 7.4. *CUNONIA MACROPHYLLA* (BALAYETTE)



<https://endemia.nc/flore/fiche302>

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 3 à 4

**Port** :

**Connaissances production** : bouturage difficile

**Altitude** (mètres) : 200 à 1150

**Distribution** : endémique, massifs du sud de l'île, sur sols ferrallitiques remaniés (maquis miniers)

**Atout / point fort** :

### 7.5. *HIBISCUS TILIACEUS* (BOURAO)



Nov. 2021



Nov. 2021

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 6 - 15

**Port** : tiges élancées

**Connaissances production** : espèce de culture facile et à la croissance rapide (0,75 à 1,5 m par an) ; les boutures au champ doivent mesurer 20 à 45 cm de long et 1 à 3 cm de diamètre. Pour créer des haies, il faut planter des boutures de branches d'environ 2 à 3 m de long en enterrant 1/3 de leur longueur dans le sol. Il est possible de favoriser l'apport de phosphore en introduisant des mycorhizes (.

**Altitude** (mètres) : 0 à 800

**Distribution** :

**Atout / point fort** :

## 7.6. MYODOCARPUS FRAXINIFOLIUS



Nov. 2021 – Socamifer

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 2

**Port** : élancé

**Connaissances production** : croissance rapide

**Altitude** (mètres) : 150 à 1100

**Distribution** : endémique, composante importante de la flore du maquis arbustif et paraforestier

**Atout / point fort** :

## 7.7. PANCHERIA ALATERNOIDES



<https://identify.plantnet.org/endemia/species/Pancheria%20alaternoides%20Brongn.%20%26%20Gris/data>

Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / petit arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 3

**Port** : branches fines

**Connaissances production** : plantules à croissance lente en pépinière

**Altitude** (mètres) : 50 à 1000

**Distribution** : espèce endémique, au sud de l'île

**Atout / point fort** : faible appétence pour le cerf en maquis, pas d'appétence en zones de plantations, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

### 7.8. *SANNANTHA LERATII*



Nov. 2021 – Socamifer

**Type** : arbrisseau

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 2

**Port** : rameaux dressés

**Connaissances production** : peut se multiplier par bouturage

**Altitude** (mètres) : 0 - 1000

**Distribution** : endémique, sur substrats ultramafiques au sud de l'île

**Atout / point fort** :

## 7.9. XANTHOSTEMON AURANTIACUS



<https://endemia.nc/flore/fiche460>

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : 2 à 3

**Port** :

**Connaissances production** : peut se multiplier par bouturage, pas d'appétence pour le cerf en zones de plantations

**Altitude** (mètres) : 30 et 700

**Distribution** : espèce endémique, massif ultramafique, sud de l'île.

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, affinité forte)

## 7.10. *OXERA NERIIFOLIA*



<https://endemia.nc/flore/fiche5485/> Gâteblé



<https://identify.plantnet.org/fr/endemia/observations/10109139>

66

**Type** : arbuste sarmenteux ou liane

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 4

**Port** : tronc élancé pouvant atteindre 10 - 12 cm de diam

**Connaissances production** : croissance rapide

**Altitude** (mètres) : jusqu'à 1000 m (maquis)

**Distribution** : espèce endémique, au sud de l'île, jusqu'à Poya, sur divers substrats

**Atout / point fort** : bonne tolérance aux fortes concentrations de nickel



Bouture âgée de 2 mois (Jaffré et Rigault, 1989)

## 8. ESPÈCES ÉCARTÉES

### 8.1. *CORDYLINE NEOCALEDONIA*

Espèce monocaule (tronc non ramifié), caractéristique incompatible avec une mise en production

### 8.2. *JOINVILLEA PLICATA (ROSEAU PLISSÉ)*

Espèce herbacée, morphologie incompatible avec une mise en production

### 8.3. *POLYSCIAS PANCHERI*



11/2021 - Socamifer

Arbuste monocaule (tronc non ramifié), caractéristique incompatible avec une mise en production

## ANNEXE 6

### Les espèces végétales à potentiel de bouturage

SOMMAIRE
----------

1. LISTE 1 263
  - 1.1. *Alphitonia neocaledonica* (Bois savon, Kùà) 263
  - 1.2. *Erythrina variegata* var. *fastigiata* (Peuplier kanak) 264
  - 1.3. *Geissois pruinosa* (Geissois, Batcho) 265
  - 1.4. *Grevillea gillivrayi* (hêtre rouge / hêtre gris) 266
  - 1.5. *Gymnostoma deplancheanum* (Bois de fer du Sud) 267
  - 1.6. *Peripterygia marginata* 268
  - 1.7. *Xanthostemon multiflorus* 269
2. LISTE 2 270
  - 2.1. *Arillastrum gummiferum* (chêne gomme) 270
  - 2.2. *Casuarina collina* (bois de fer) 271
  - 2.3. *Codia discolor* 272
  - 2.4. *Cunonia macrophylla* (Balayette) 273
  - 2.5. *Hibiscus tiliaceus* (Bourao) 274
  - 2.6. *Myodocarpus fraxinifolius* 275
  - 2.7. *Pancheria alaternoides* 276
  - 2.8. *Sannantha leratii* 277
  - 2.9. *Xanthostemon aurantiacus* 278
  - 2.10. *Oxera neriifolia* 279
3. ESPÈCES ÉCARTÉES 280
  - 3.1. *Cordyline neocaledonia* 280
  - 3.2. *Joinvillea plicata* (roseau plissé) 280
  - 3.3. *Polyscias pancheri* 280

## 9. LISTE 1

### 9.1. *ALPHITONIA NEOCALEDONICA* (BOIS SAVON, KÙA)



Socamifer



2021 -

Par Scott Zona — originally posted to Flickr as *Alphitonia neo-caledonica*, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5215705>

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 1 à 3

**Port** : mince et élancé

**Connaissances production** : croissance moyenne ; appétence forêt pour le cerf dans le maquis et zones de plantation

**Altitude** (mètres) : 0 -1000

**Distribution** : espèce endémique pionnière abondantes des maquis miniers

**Atout / point fort** : prolifération importante constatée de bactéries *Frankia* dans sa rhizosphère, qui pourrait ainsi faciliter l'installation ultérieure d'espèces du genre *Gymnostoma*, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

## 9.2. *ERYTHRINA VARIEGATA* VAR. *FASTIGIATA* (PEUPLIER KANAK)



Par Sanu N — Travail personnel, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61790735>



Whistler et Elevitch, 2006

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : entre 10 et 15, parfois jusqu'à 20

**Port** : arbre élancé

**Connaissances production** : l'arbre est planté sous forme de bouture (2 à 3 mètres de long et 5 à 10 cm de diamètre) pour faire des haies vives ou comme arbre ornemental ; des boutures plus petites peuvent être utilisées minimum 30 cm de long et 4/5 cm de diamètre ; croissance rapide dans des conditions favorables, avec une croissance de 1,5 à 3 m par an.

**Altitude** (mètres) : 250 jusqu'à 1500 (proche de l'équateur)

**Distribution** : originaire d'Asie et d'Océanie subtropicale et tropicale, naturalisée en Nouvelle-Calédonie (« peuplier kanak »)

**Atout / point fort** : espèce de la famille des Fabacées, fixatrice d'azote atmosphérique

### 9.3. *GEISSOIS PRUINOSA* (*GEISSOIS, BATCHO*)



Nov. 2021 - Socamifer



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 3 à 6, parfois jusqu'à 8

**Port** : élancé

**Connaissances production** : culture facile, bouturage possible, pas de maladies ni de ravageurs constatés.

**Altitude** (mètres) : 30 à 700

**Distribution** : espèce endémique, pionnière uniquement sur roches ultramafiques

**Atout / point fort** : faible appétence pour le cerf, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

#### 9.4. GREVILLEA GILLIVRAYI (HÊTRE ROUGE / HÊTRE GRIS)



1Nov. 2021 - Socamifer



1Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 10

**Port** : espèce assez polymorphe, grandes tiges, relativement fines

**Connaissances production** : supporte très bien la taille, même assez sévère, mais cela ne l'aide guère à former des arbustes très ramifiés. La multiplication de tête ou de tronçons de tige semi-ligneuse est aisée et nécessite de 2 à 3 mois pour un bon enracinement.

**Altitude** (mètres) : 0 -1000

**Distribution** : espèce endémique commune des maquis miniers

**Atout / point fort** : généralement peu endomycorhizée (MA, faible affinité)

## 9.5. GYMNOSTOMA DEPLANCHEANUM (BOIS DE FER DU SUD)



Nov. 2021 - Thiébagy



Nov. 2021 - Socamifer



Nov. 2021 - La Coulée (PS)

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 2 -15

**Port** : en milieu naturel, la forme des individus résulte des conditions (candélabre, parasol, « en nuage ») ; le port en culture est généralement conique ou en boule.

**Connaissances production** : des tailles peuvent être effectuées sur les jeunes plants ou les plants plus âgés. Le bouturage de rameaux semi-ligneux est possible. En pépinière leur croissance est modérée (10 cm en 1 an). Pas d'appétence en maquis, appétence moyenne en zones de plantations.

**Altitude** (mètres) : 0 -300 (600 ?)

**Distribution** : espèce endémique des maquis miniers et para forestiers.

**Atout / point fort** : espèce fixatrice d'azote (symbiose bactérienne à Frankia), production très importante de semences, production de litière qui reste en place au pied des individus.

## 9.6. PERIPTERYGIA MARGINATA



<https://floraoftheworld.org/flora/17592186247498>



<https://floraoftheworld.org/flora/17592186111793>

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 4

**Port** : élancé

**Connaissances production** : bouturage possible à partir de jeunes rameaux, difficulté moyenne, 65% de réussite après repotage à 60 jours

**Altitude** (mètres) : 0 à 1050

**Distribution** : espèce endémique, cantonnée aux maquis sur roches ultramafiques

**Atout / point fort** : grande amplitude écologique, espèce toxicorésistance au nickel, aptitude absorber sélectivement le calcium dans des sols excessivement pauvres en cet élément mais anormalement riches en magnésium et nickel (JAFFRE et RIGUAULT, 1989)



Rejets sur une branche cassée (L'Huillier et al., 2010)

## 9.7. XANTHOSTEMON MULTIFLORUS



<https://www.rarepalmseeds.com/fr/xanthostemon-multiflorus-fr>



<https://endemia.nc/flore/fiche1509>

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 30

**Port** : élancé

**Connaissances production** : ?

**Altitude** (mètres) : 0 à 600

**Distribution** : tous les massifs de roches ultramafiques, en maquis minier

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

## 10. LISTE 2

### 10.1. *ARILLASTRUM GUMMIFERUM* (CHÊNE GOMME)



Nov. 2021 – Socamifer



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 35 (en forêts humides)

**Port** : élancé

**Connaissances production** : en plantation sur des terrains non dégradés, on enregistre couramment des croissances de 50 cm de hauteur par an. Les essais de multiplication végétative (UNC), notamment par bouturage de rameaux n'ont pas donné de résultats satisfaisants (Gateblé, 2016)

**Altitude** (mètres) : 0 - 700

**Distribution** : endémique, inféodée aux terrains ultramafiques, dans le sud de l'île.

**Atout / point fort** : formation de litière au pied des individus

## 10.2. CASUARINA COLLINA (BOIS DE FER)



Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 20

**Port** : droit et élancé

**Connaissances production** : pas d'appétence pour le cerf en maquis, affinité moyenne en zones de plantations

**Altitude** (mètres) : 0 - 500

**Distribution** : endémique, sur terrains miniers sur l'ensemble de la grande terre. Tendance à former des peuplements stables monospécifiques ; il semble prudent de ne l'utiliser que de manière limitée et uniquement dans les milieux où son extension peut être contrôlée.

**Atout / point fort** : symbiose avec des bactéries du genre Frankia

### 10.3. CODIA DISCOLOR



[https://www.flickr.com/photos/ben\\_caledonia/22513177625/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/ben_caledonia/22513177625/in/photostream/)



<https://endemia.nc/flore/fiche3545>

**Type** : arbuste / petit arbre

**Hauteur** (mètres) : ?

**Port** : tiges élancées

**Connaissances production** : plants forestiers produits en pépinières

**Altitude** (mètres) : 200 - 1000

**Distribution** : endémique, dans les maquis miniers et en forêt de basse à haute altitude

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité), pas d'appétence pour le cerf en maquis et zones de plantations

#### 10.4. *CUNONIA MACROPHYLLA* (BALAYETTE)



<https://endemia.nc/flore/fiche302>

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 3 à 4

**Port** :

**Connaissances production** : bouturage difficile

**Altitude** (mètres) : 200 à 1150

**Distribution** : endémique, massifs du sud de l'île, sur sols ferrallitiques remaniés (maquis miniers)

**Atout / point fort** :

### 10.5. *HIBISCUS TILIACEUS* (BOURAO)



Nov. 2021



Nov. 2021

**Type** : arbuste / arbre

**Hauteur** (mètres) : 6 - 15

**Port** : tiges élancées

**Connaissances production** : espèce de culture facile et à la croissance rapide (0,75 à 1,5 m par an) ; les boutures au champ doivent mesurer 20 à 45 cm de long et 1 à 3 cm de diamètre. Pour créer des haies, il faut planter des boutures de branches d'environ 2 à 3 m de long en enterrant 1/3 de leur longueur dans le sol. Il est possible de favoriser l'apport de phosphore en introduisant des mycorhizes (.

**Altitude** (mètres) : 0 à 800

**Distribution** :

**Atout / point fort** :

## 10.6. *MYODOCARPUS FRAXINIFOLIUS*



Nov. 2021 – Socamifer

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 2

**Port** : élancé

**Connaissances production** : croissance rapide

**Altitude** (mètres) : 150 à 1100

**Distribution** : endémique, composante importante de la flore du maquis arbustif et paraforestier

**Atout / point fort** :

## 10.7. PANCHERIA ALATERNOIDES



<https://identify.plantnet.org/endemia/species/Pancheria%20alaternoides%20Brongn.%20%26%20Gris/data>

Nov. 2021 - Socamifer

**Type** : arbuste / petit arbre

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 3

**Port** : branches fines

**Connaissances production** : plantules à croissance lente en pépinière

**Altitude** (mètres) : 50 à 1000

**Distribution** : espèce endémique, au sud de l'île

**Atout / point fort** : faible appétence pour le cerf en maquis, pas d'appétence en zones de plantations, généralement bien endomycorhizée (MA, forte affinité)

### 10.8. *SANNANTHA LERATII*



Nov. 2021 – Socamifer

**Type** : arbrisseau

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 2

**Port** : rameaux dressés

**Connaissances production** : peut se multiplier par bouturage

**Altitude** (mètres) : 0 - 1000

**Distribution** : endémique, sur substrats ultramafiques au sud de l'île

**Atout / point fort** :

### 10.9. XANTHOSTEMON AURANTIACUS



<https://endemia.nc/flore/fiche460>

**Type** : arbuste

**Hauteur** (mètres) : 2 à 3

**Port** :

**Connaissances production** : peut se multiplier par bouturage, pas d'appétence pour le cerf en zones de plantations

**Altitude** (mètres) : 30 et 700

**Distribution** : espèce endémique, massif ultramafique, sud de l'île.

**Atout / point fort** : généralement bien endomycorhizée (MA, affinité forte)

## 10.10. *OXERA NERIIFOLIA*



<https://endemia.nc/flore/fiche5485/> / Gâteblé



<https://identify.plantnet.org/fr/endemia/observations/10109139>

66

**Type** : arbuste sarmenteux ou liane

**Hauteur** (mètres) : jusqu'à 4

**Port** : tronc élancé pouvant atteindre 10 - 12 cm de diam

**Connaissances production** : croissance rapide

**Altitude** (mètres) : jusqu'à 1000 m (maquis)

**Distribution** : espèce endémique, au sud de l'île, jusqu'à Poya, sur divers substrats

**Atout / point fort** : bonne tolérance aux fortes concentrations de nickel



Bouture âgée de 2 mois (Jaffré et Rigault, 1989)

## 11. ESPÈCES ÉCARTÉES

### 11.1. *CORDYLINE NEOCALEDONIA*

Espèce monocaule (tronc non ramifié), caractéristique incompatible avec une mise en production

### 11.2. *JOINVILLEA PLICATA (ROSEAU PLISSÉ)*

Espèce herbacée, morphologie incompatible avec une mise en production

### 11.3. *POLYSCIAS PANCHERI*



11/2021 - Socamifer

Arbuste monocaule (tronc non ramifié), caractéristique incompatible avec une mise en production

## ANNEXE 8

### Carte de localisation des sites de démonstration et emplacements des ouvrages

SOMMAIRE
----------

1. CARTE D'ENSEMBLE.....	301
2. NAKETY .....	302
3. PARC PROVINCIAL DE LA RIVIÈRE BLEUE.....	303
4. SOCAMIFER .....	304
5. VULCAIN.....	305
6. BEL AIR .....	306
7. LA COULÉE .....	307

- **CARTE D'ENSEMBLE**



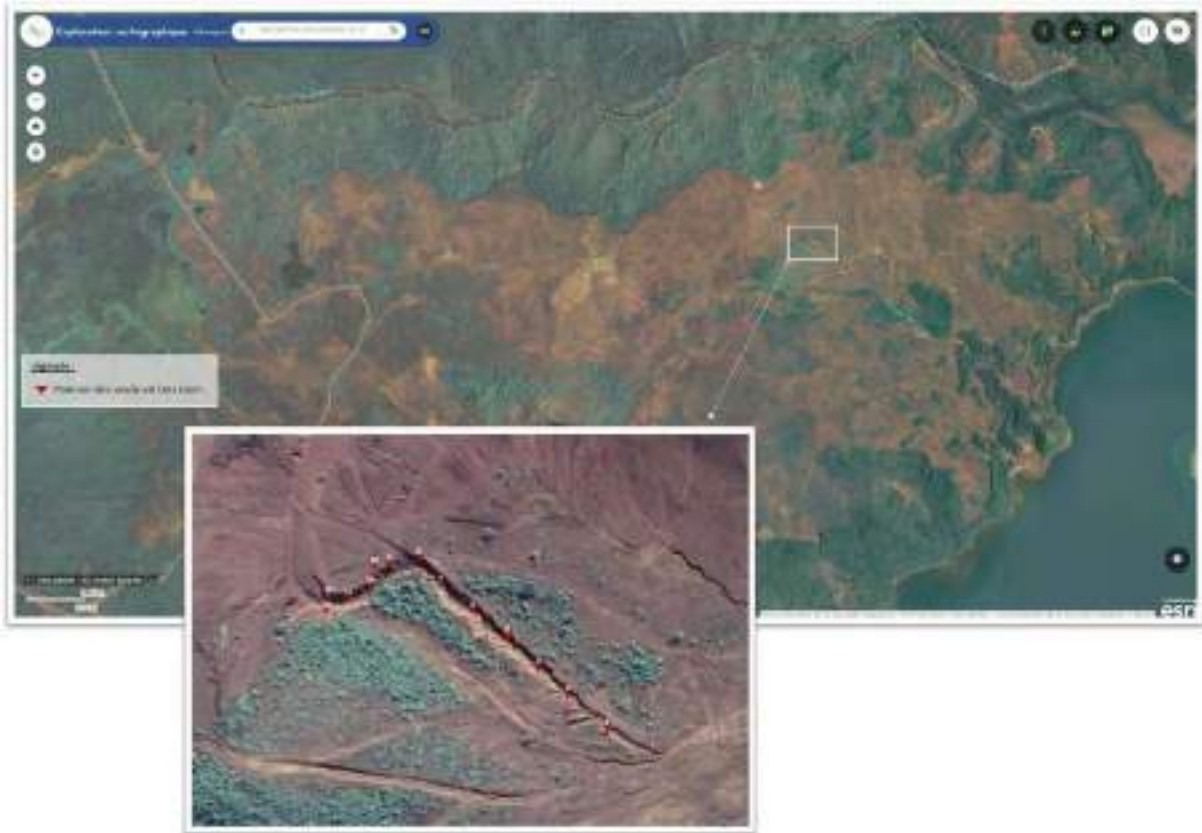
- **NAKETY**



## - **PARC PROVINCIAL DE LA RIVIÈRE BLEUE**



- **SOCAMIFER**



- **VULCAIN**



- **BEL AIR**



## - LA COULÉE



## ANNEXE 9

### Projet d'article pour EchoSciences

## L'ingénierie écologique fait sa démonstration en outre-mer

### L'ingénierie écologique : place aux architectes de la nature !

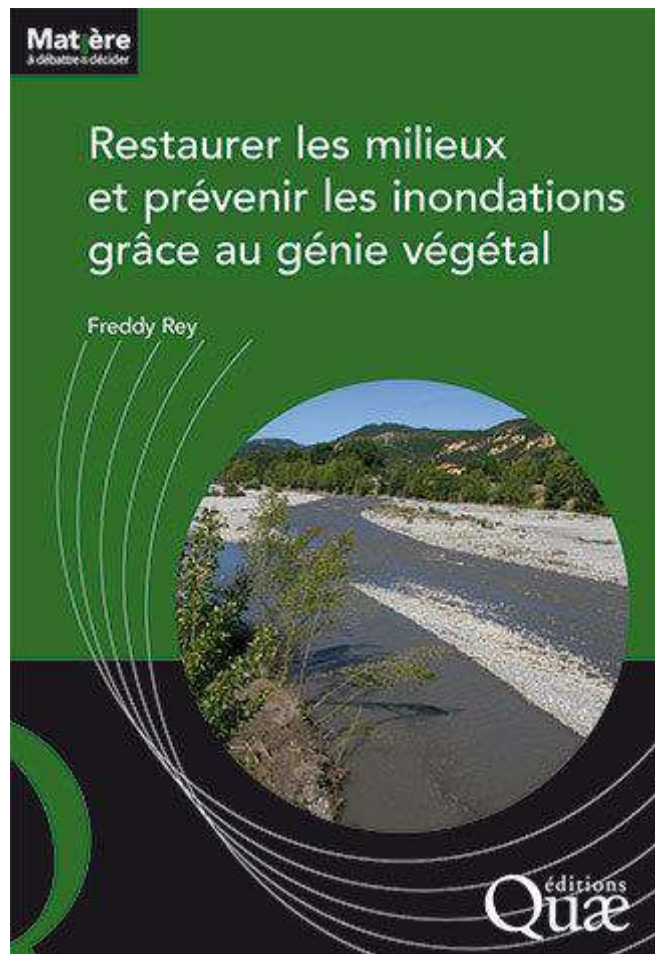
Pour définir l'[ingénierie écologique](#), on peut faire un parallèle avec la construction d'une maison qui nécessite l'intervention d'un architecte, qui va concevoir le projet de maison. Et bien l'ingénieur écologue, c'est l'architecte de la nature ! C'est pourquoi on définit volontiers l'ingénierie écologique par des « actions par et/ou pour la nature (ou le vivant) ». L'ingénieur écologue va ainsi chercher comment servir la nature (la préserver, la restaurer...), mais aussi comment se servir de la nature. Et l'un des grands avantages de l'ingénierie écologique, c'est d'être multi-bénéfices, par exemple en préservant la biodiversité tout en protégeant les biens et les personnes.

En ce sens, l'ingénierie écologique répond à la définition que l'on donne aux [solutions fondées sur la nature](#), qui correspondent à des applications de [projets co-bénéfices](#), avec un gain pour la biodiversité et un gain pour la société. Parmi ce dernier, on peut citer la lutte contre les changements climatiques, la réduction des risques naturels, l'amélioration de la santé, la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau ou le développement socio-économique. Ce sont des enjeux forts qui ont fortement alimenté les discussions aux derniers [Congrès français](#) et [Congrès mondial de la nature de l'UICN](#).

L'ingénierie écologique représente ainsi la meilleure alliée et le meilleur outil pour mettre en place un projet mettant en œuvre une solution fondée sur la nature. Grâce à une structuration importante de ses acteurs ces dix dernières années, elle est aujourd'hui disponible, visible et accessible, notamment au travers de l'[Association fédérative des acteurs de l'ingénierie et du génie écologique \(A-IGECO\)](#).

### Adaptabilité de l'ingénierie écologique aux territoires ultra-marins

Il existe un véritable savoir-faire aujourd'hui en ingénierie écologique, qui est l'apanage de l'ingénieur écologue. Ce savoir-faire est transcrit dans des guides de bonnes pratiques, mais qui ne sont là que pour orienter les actions. Car ce savoir-faire est toujours très spécifique, étant mis en œuvre sur des milieux naturels, et il n'y a que des cas particuliers dans la nature.



Publié [aux Editions Quæ](#) dans la collection Matière à débattre et décider, l'ouvrage *Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal* fournit des solutions concrètes pour concilier la gestion des inondations et celle des milieux naturels, dans un contexte de forte érosion.

Mais ce savoir-faire reste reproductible, à condition de s'adapter au contexte où l'on souhaite le reproduire. L'adaptation est avant tout écologique et climatique. Par exemple, on ne rencontre pas les mêmes conditions entre une situation continentale et une situation tropicale. Le challenge pour la reproduction dans les territoires ultramarins réside alors dans des contraintes techniques, économiques et sociales.

Prenons l'exemple d'une technique de génie végétal que l'on souhaite reproduire, par exemple des barrages végétaux filtrant les sédiments. Existe-t-il des pépinières permettant de s'approvisionner en matériel végétal (semences, plants...) ? La technique est-elle intéressante du point de vue du rapport coût/bénéfice ? En l'absence d'entreprises qualifiées, les populations sont-elles prêtes à réaliser les travaux elles-mêmes ? Sur ce dernier point, il est intéressant de noter que la contrainte peut se muer en opportunité, car l'ingénierie écologique en particulier, et toute la mise en œuvre du projet de solutions fondées sur la nature au sens large, peuvent être sources d'emplois en formant notamment de futurs « ouvriers de la nature ».

Dans ce contexte, l'ambition du [projet INNER-MINE](#) est de développer et promouvoir des techniques éprouvées et innovantes d'[ingénierie écologique](#), en mettant l'accent sur leur application au contexte ravinaire et minier et au climat tropical tel qu'il prévaut en Nouvelle-Calédonie. Il s'agit de réaliser des sites de démonstration de ces techniques, en s'appuyant sur des [retours d'expériences](#) et des [expérimentations](#). Le caractère innovant des techniques visées porte sur leur caractère multi-bénéfices, à savoir qu'elles doivent permettre de concilier contrôle de l'érosion et de la sédimentation, et restauration écologique des sites dégradés. L'innovation porte sur l'utilisation de techniques faisant appel au vivant, à savoir au [génie végétal](#), et qui soient intégrées au contexte néo-calédonien. Une attention particulière est portée au contexte ravinaire et aux contraintes torrentielles associées, ainsi qu'à la durabilité des techniques retenues, à leur rapport coût-avantage et à leur caractère reproductible dans d'autres territoires d'outre-mer, et plus largement dans les milieux et climats difficiles (montagnards, méditerranéens...). Ce projet répond à l'[engouement actuel des pouvoirs publics pour le développement de solutions fondées sur la nature](#), et nourrit les réflexions sur les approches multi-bénéfices pour la réduction des risques naturels liés à l'eau, telles qu'elles sont développées dans le cadre de la mise en œuvre de la compétence [GEMAPI](#).



*La Nouvelle-Calédonie est marquée par des terrains très fortement dégradés du fait de l'exploitation du nickel*

Les terrains de jeu ne manquent pas dans les territoires ultra-marins. En Guyane par exemple, l'ingénierie écologique est sollicitée pour revégétaliser les ravines creusées dans les anciennes mines d'or. En Polynésie, des applications sont sans doute possibles pour revégétaliser les anciennes mines de phosphates. La topographie

montagneuse de ces îles les rend très exposées aux risques liés à l'eau, avec un contexte ravinaire marqué.



*Interventions de génie écologique allié au génie civil dans des ravines en contexte minier en Guyane*

### **Renforcer les liens entre chercheurs et praticiens**

Sur ces terrains dégradés ou abandonnés, les attentes des praticiens sont réelles, mais se heurtent aux lacunes de savoir-faire liées aux spécificités de chaque territoire. La recherche y trouve donc plus que jamais sa place, afin de nourrir ce savoir-faire par de plus grandes connaissances, et donc expérimentations.

Pour cela, des [Comités de recherche tels que celui de l'ASTEE](#) affichent leur ambition de contribuer à rapprocher le monde de la recherche et le monde opérationnel, notamment dans le domaine de l'eau et des risques associés.

À INRAE, au sein du Département ACT, l'un des grands objectifs des chercheurs porte sur la [gestion intégrée des liens entre biodiversités, ressources et santé](#)s. Ce grand objectif scientifique repose sur la prise en compte du lien entre environnement et santé dans la gestion intégrée des territoires, *via* plusieurs fronts de recherche dont l'un est lié à la dynamique de la biodiversité et aux solutions fondées sur la nature, et donc à l'ingénierie écologique.

**>> Pour aller plus loin :**

- Lire l'article « [Les Solutions fondées sur la Nature, vous connaissez ?](#) » sur le site d'INRAE
- Découvrir le site de la [Commission Gestion des écosystèmes du Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature \(UICN\)](#)

**>> Crédits :** Freddy Rey