



**HAL**  
open science

## Analyse et synthèse des expérimentations et actions de restauration écologique réalisées sur sites miniers en Nouvelle-Calédonie depuis 30 ans. Synthèse et recommandations

Hamid Amir, Bruno Fogliani, Simon Gensous, Gilles Durrieu, Laurent L'Huillier, Danielle Saintpierre, Alexandre Lagrange, Adeline Reck, Thomas Gaillard

### ► To cite this version:

Hamid Amir, Bruno Fogliani, Simon Gensous, Gilles Durrieu, Laurent L'Huillier, et al.. Analyse et synthèse des expérimentations et actions de restauration écologique réalisées sur sites miniers en Nouvelle-Calédonie depuis 30 ans. Synthèse et recommandations. [Rapport de recherche] Programme Recosynth. Tome Nickel et Environnement, CNRT Nickel et son environnement. 2018, 25 p. ird-03371879

**HAL Id: ird-03371879**

**<https://ird.hal.science/ird-03371879>**

Submitted on 9 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



# SYNTHESE

Des rapports scientifiques

EDITION  
Conservation &  
préservation de  
la biodiversité  
**2018**

Analyse et synthèse des  
expérimentations et actions  
de restauration écologique  
réalisées sur sites miniers  
en Nouvelle-Calédonie  
depuis 30 ans







# SYNTHESE & RECOMMANDATIONS 2018

## RECOSYNTH

ANALYSE ET SYNTHÈSE DES EXPÉRIMENTATIONS ET ACTIONS DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE RÉALISÉES SUR SITES MINIERES EN NOUVELLE-CALÉDONIE DEPUIS 30 ANS





# SYNTHESE & Recommandations

du programme

## RECOSYNTH

Analyse et synthèse des expérimentations et actions de restauration écologique réalisées sur sites miniers en Nouvelle-Calédonie depuis 30 ans

2018

Par le consortium : UNC / IAC / SIRAS Pacifique / Bota Environnement

### AUTEURS :

Hamid Amir : Responsable du projet (UNC)

Bruno Fogliani : Co-responsable du projet (IAC)

Simon Gensous : (UNC)

Gilles Durrieu : (UNC)

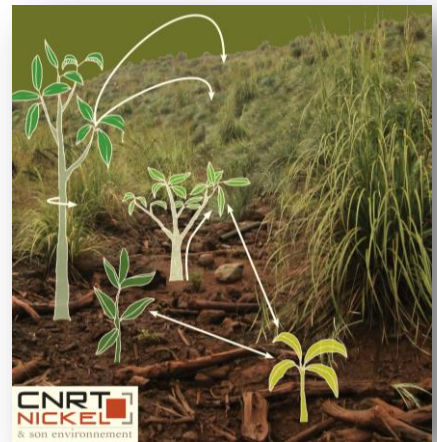
Laurent L'Huillier (IAC)

Danielle Saintpierre (SIRAS Pacifique)

Alexandre Lagrange (Bota Environnement)

Adeline Reck (SIRAS Pacifique)

Thomas Gaillard (Bota Environnement)



*Illustration de couverture Pierre LOSLIER*



## ***PRÉAMBULE***

---

Le présent document « **RECOSYNTH - Synthèse et Recommandations** » résume dans une première partie les travaux et les principaux enseignements issus du programme RECOSYNTH ainsi que la démarche qui a abouti à la proposition d'un indicateur global de réussite d'une opération de restauration écologique.

Il propose dans une seconde partie des recommandations pour le suivi de la réussite de la restauration écologique, basées sur les résultats du programme RECOSYNTH et sur les connaissances « à dire d'experts » des membres de l'équipe scientifique.



# 1. RÉSUMÉ DES TRAVAUX ET DES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DU PROGRAMME RECOSYNTH

## *CONTEXTE*

---

En Nouvelle-Calédonie, l'exploitation minière à ciel ouvert nécessite de supprimer la végétation et de décaper les sols des zones concernées pour extraire le minerai. Les terrains ainsi dégradés doivent être revégétalisés afin de réduire l'érosion et de permettre une évolution sur le long terme vers une restauration écologique du milieu. Ainsi, depuis les années 1980, un certain nombre d'essais ont permis de maîtriser la culture des espèces végétales natives et d'améliorer les techniques de revégétalisation.

Après une trentaine d'années d'expérience de la revégétalisation des sites dégradés, un bilan synthétique pratique est devenu nécessaire pour déterminer l'état des savoir-faire dans ce domaine, mettre en avant les techniques les plus efficaces et orienter les recherches à venir. En effet, si de nombreux essais ont été réalisés, les résultats qui découlent de la majorité de ces travaux sont dispersés et ne sont pas tous connus et disponibles. De plus, les essais n'ont pas été suivis sur un temps suffisamment long pour en apprécier l'intérêt et l'efficacité.

Ce constat, partagé par tous les acteurs intervenant dans le domaine, a conduit à la mise en œuvre du programme RECOSYNTH financé par le CNRT « Nickel et son environnement ».

Un consortium constitué de deux équipes de recherche de l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC) et de l'Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC), et de deux entreprises privées travaillant dans le domaine de la revégétalisation minière, SIRAS Pacifique et Bota Environnement, s'est constitué pour mener cette étude.

## *OBJECTIFS*

---

Afin d'exploiter le maximum de données sur les diverses opérations de revégétalisation orientées vers la restauration écologique, le projet RECOSYNTH se proposait de cibler un nombre suffisant de sites revégétalisés, pour disposer d'un panel représentatif de la diversité des cas, à la fois sur les plans géographique, topographique, climatique, pédologique, technique et en termes d'années de remise en état.

L'approche générale a consisté, dans un premier temps, à collecter toutes les données existantes sur plusieurs dizaines de sites revégétalisés, puis à retourner sur ces terrains pour y décrire avec précision l'état actuel du site. Cette étude comportait une difficulté majeure : la grande diversité des sites, des conditions et des techniques utilisées, rendant l'interprétation des résultats extrêmement complexe. C'est pourquoi, toutes les informations obtenues ont d'abord été intégrées dans une base de données spécialement dédiée, avant d'être traitées par diverses méthodes statistiques, complétées par des comparaisons directes.

Les objectifs du projet ont donc été définis comme suit : i) mettre en évidence le maximum de techniques pratiques et de conditions favorables à une bonne restauration écologique de ces milieux et en déduire des recommandations pour optimiser les possibilités d'évolution vers un état de maquis minier complexe et résilient; ii) mettre au point un ou des indicateurs de réussite de la restauration écologique basés sur les résultats obtenus ; iii) faire des propositions pour les recherches qui doivent être faites dans les années à venir dans ce domaine.

## ETAPE 1 : SÉLECTION DES SITES

Plusieurs centaines de zones revégétalisées appartenant à 82 sites miniers différents ont été soumises à une première sélection, après obtention d'informations générales les concernant. Cette démarche a permis la pré-sélection de 63 zones revégétalisées.

Après avoir obtenu des informations complémentaires les plus exhaustives possibles sur ces zones, une deuxième sélection plus fine, visant à garder un maximum de diversité des terrains et des techniques utilisées a été réalisée. C'est ainsi que 35 zones revégétalisées ont été finalement choisies pour une étude détaillée; la figure 1 en montre leur répartition sur la Grande terre "Certaines zones comportant plusieurs traitements différents ou modalités (par ex utilisation ou non de topsoil, ...), on obtient ainsi au total 67 modalités différentes à étudier."

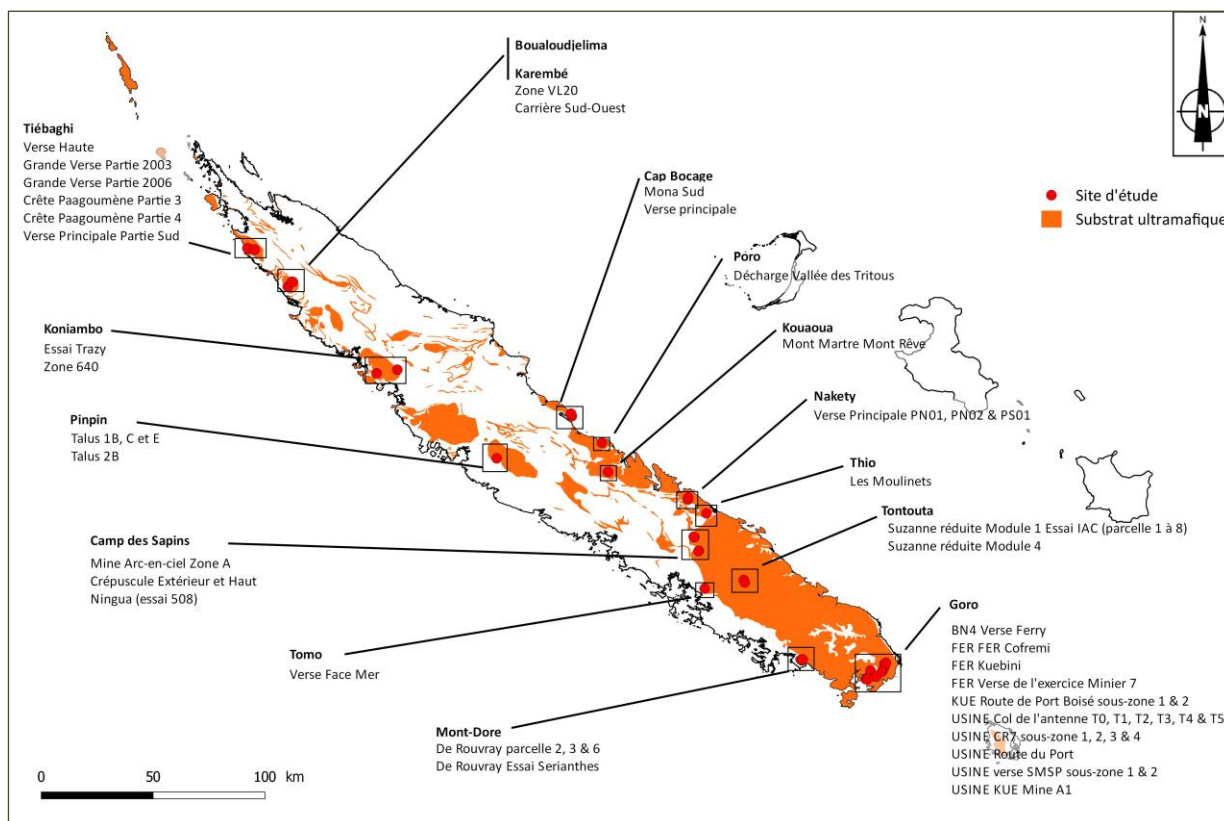


Figure 1 : Carte montrant la répartition sur la grande terre des 35 zones sélectionnés



## **ETAPE 2 : MISE AU POINT D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION PERMETTANT DE RÉALISER LES RELEVÉS SUR LE TERRAIN ET CRÉATION DE LA BASE DE DONNÉES**

---

### ⊙ « Fiche terrain » et Mémo

Une grille nommée « **fiche terrain** »<sup>1</sup> a été conçue pour intégrer non seulement des informations générales sur le site (coordonnées géographiques, altitude, pluviosité, etc.), mais aussi sur le protocole de revégétalisation et l'état actuel précis de la végétation.

Les informations renseignées doivent permettre d'analyser l'évolution du système revégétalisé vers une restauration du milieu.

Les connaissances scientifiques considèrent trois grands aspects intervenants dans cette évolution :

1. La productivité végétale (croissance et survie)
2. Le dynamisme du système dans le temps, notamment en termes d'enrichissement en nouvelles plantes, en nouvelles espèces (diversité) et en matière organique du sol
3. L'augmentation des interactions entre les composants du système revégétalisé (pollinisation, symbioses, etc.).

La « fiche terrain » a donc été mise au point pour obtenir une description la plus précise possible de l'état de chacune des 35 zones revégétalisées étudiées. Beaucoup de ces zones ne comportent qu'une seule modalité de revégétalisation (pas de variation de technique, traitement, fertilisation, etc.) ; d'autres au contraire sont divisées en sous-zones comportant chacune une modalité différente. Au final 67 modalités différentes ont été considérées. La fiche permet de recueillir des informations générales sur la mine, la zone, l'orientation, l'altitude, la pente, puis sur les substrats, les espèces végétales utilisées. Elle décrit en outre de façon précise l'état actuel en termes de recouvrement du sol, de nombre et de diversité des plantes, croissance, floraison/fructification, présence de plantes exotiques, etc.

Pour permettre de réaliser ce relevé de façon aussi standardisée que possible, une fiche, dite « **fiche mémo** », permettant définissant clairement les termes techniques utilisés, les variables mesurées et les modes de notations, a été mise au point et jointe à la fiche terrain. Elle comporte de nombreuses photos et illustrations destinées à aider le technicien sur le terrain.

### ⊙ Base de données RECOSYNTH

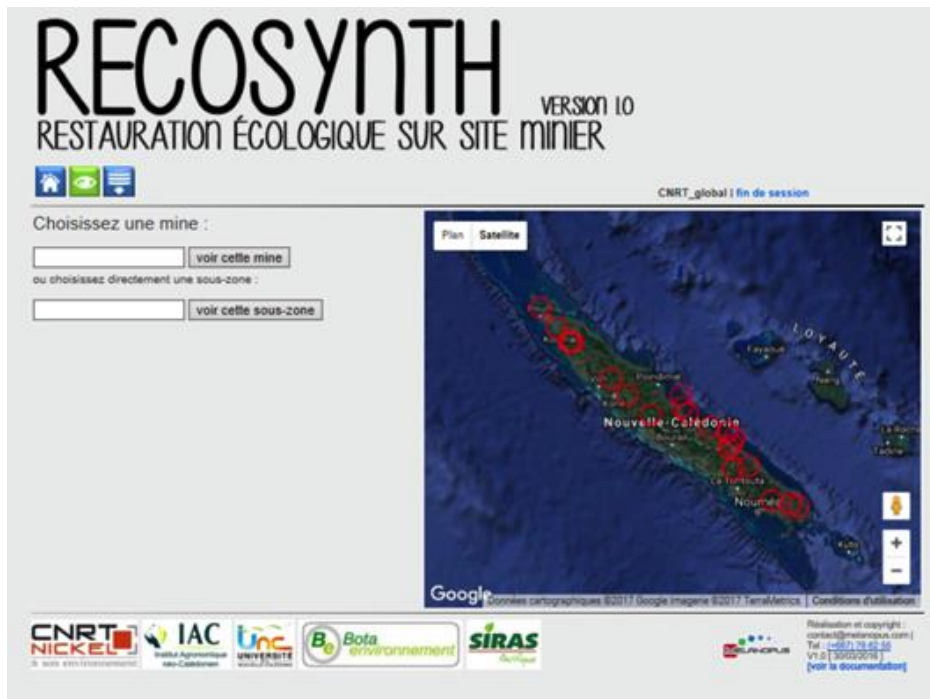
Parallèlement, la base de donnée RECOSYNTH a été conçue et mise en place (collaboration de l'équipe projet avec l'entreprise Melanopus). Dans cette base ont été intégrés tous les paramètres de la « fiche terrain » et les données historiques des zones.

Cette base de données devait permettre la réutilisation facile de ces données pour des extractions et des traitements statistiques. Plus tard, elle permettra le diagnostic des terrains avant intervention et le suivi des terrains revégétalisés grâce à un indicateur de réussite de la restauration.

Deux écrans de cette base de données sont illustrés ci-après.

---

<sup>1</sup> Il existe une fiche terrain pour l'état initial de la zone à restaurer et une fiche terrain pour le suivi des résultats de la restauration, chacune accompagnées d'un mémo spécifique



**Informations générales sur la modalité :**

- Apports effectués pour cette modalité :
- Espèces semées ou plantées pour cette modalité :
- Atriplex australasica

CHAMP	VALEUR
C_DATE	27/06
ECRIS	TONTT_VULC_SRED_MD04_2011
CODE_ESP	Atriplex australasica
SRV_ID	0
TX_SERV	
DATE_COLLEC	
URI_COLLEC	
SRV_SERV	
MODE_CONSERV	
TPS_CONSERV	
TAXONNOMENT_PRINCIPAL	
ENFOUCISSEMENT_SOLEIL	
TPS_CULT	
CONDITIONNEMENT	
PROVINCE	

- Acrotelia diversaria
- Aphelinia australasica
- Cissia arenosa
- Cissia sp.
- Corallia neocaledonia
- Casuarina aculeata
- Cotonea purpurea
- Zostera sp.
- Duchassaingia nitens
- Grevillea acuta
- Grevillea acuta subsp. nov.
- Gossypium hirsutum
- Gymnosoma deglaciatum
- Hibiscus parviflorus
- Lonchocarpus
- Marchantia deglaciatum
- Marasmius laurifolius
- Melospiza melanoleuca
- Oriza sp.
- Paspalum sp.
- Phytolacca sp.
- Pisonotus sp.
- Blechnum montana
- Echinops sp.
- Sidaea sp.
- Stenactis strobilata
- Stenactis umbellifera
- Stygium sp.
- Tetraneura pallidus
- Xanthoxanthus ruber

Aspects de la base de données. Le premier écran (en haut) permet de choisir une mine et une zone revégétalisée parmi celles étudiées dans ce projet ; le deuxième écran (en bas) permet de visualiser les informations sur des paramètres sélectionnés.



### **ETAPE 3 : RELEVÉS SUR LE TERRAIN**

---

Munies de la « fiche terrain » et de la « fiche mémo », des membres de l'équipe projet se sont rendus sur les sites sélectionnés pour réaliser les relevés et récupérer la totalité des données ciblées. Du fait de la grande taille de certaines surfaces revégétalisées, une méthode de relevé sur une surface minimale statistiquement acceptable a été choisie : il s'agit de la méthode des quadrats. Après environ six mois de travail sur les 35 zones revégétalisées, l'ensemble des données récupérées ont été intégrées dans la base de données.

### **ETAPE 4 : TRAITEMENT DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION**

---

Afin de rendre les données statistiquement exploitables, certaines d'entre-elles ont été transformées en indice. Des indices classiques de biodiversité ont également été calculés : l'indice de Shannon qui exprime le nombre d'espèces différentes et la répartition des individus au sein de ces espèces et l'indice de Simpson qui exprime la probabilité que deux individus pris au hasard soient de la même espèce.

Pour certaines variables, une autre transformation mathématique importante a été nécessaire pour une comparaison acceptable de données provenant de zones revégétalisées à des périodes différentes. En effet, il est évident que les tailles de plantes d'un terrain revégétalisé il y a 20 ans seront, en moyenne, supérieures à celles d'un terrain revégétalisé il y a 4 ans et cela quelle que soit la qualité du travail de restauration. Il importait donc de « neutraliser » mathématiquement l'effet de l'année de revégétalisation avant de comparer les différentes zones.

Trois approches différentes ont ensuite été utilisées pour interpréter les résultats :

- La comparaison directe de traitements différents (ou modalités) au sein d'une même zone revégétalisée ou entre des zones comparables.
- Un traitement mathématique global sur l'ensemble des zones afin de chercher à les classer en fonction de la qualité générale de la restauration obtenue (réussite).
- Un complément d'interprétation empirique basée sur des observations fiables sur le terrain, non exploitables par les deux précédentes approches.

En raison de la grande quantité de résultats du projet, il n'est pas possible de les résumer à travers des figures ou des tableaux. Seules quelques figures illustratives sont donc proposées ici, l'accent étant mis sur les conclusions qui en découlent.

Tout d'abord, afin de réaliser la comparaison directe de différentes modalités par analyse de variance, il était nécessaire de les comparer entre-elles pour toutes les variables ayant une influence sur la réussite. La figure 2 montre, pour le cas du site Mont-Dore de Rouvray, la mise en évidence de l'effet « exposition au vent » des parcelles revégétalisées, en comparant, au sein d'une même zone, 3 modalités différemment exposées.

La modalité 3, peu exposée de par son orientation et comportant des brise-vents efficaces, donne de meilleurs résultats pour la majorité des variables (4 sont illustrées ici).

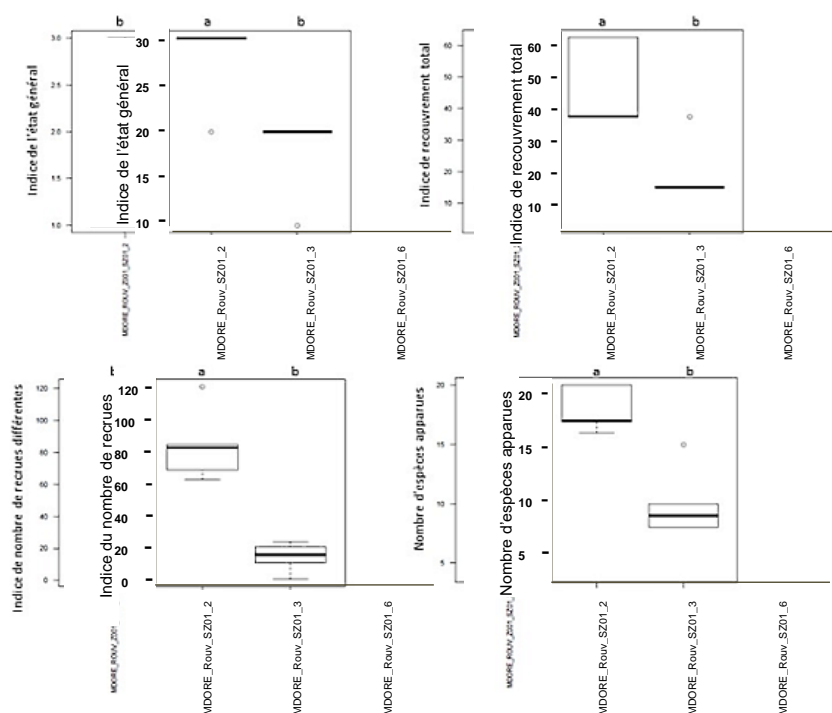


Figure 2 : Comparaison de 3 modalités du site Mont-Dore de Rouvray montrant l'influence de l'exposition au vent sur quatre variables déterminant la réussite de la restauration (Sous zone 2 et 6 avec exposition Sud-Est et sous zone 3 avec exposition Nord, les trois sous zones ayant été pourvues de brise-vents plantés dans le même temps que le chantier de revégétalisation ; Indice d'état général : indice de santé globale à 4 niveaux ; Indice de recouvrement total : indice de Braun Blanquet du recouvrement du sol lié à toute la végétation ; Indice du nombre de recrues différentes : nombre moyen, par quadrat, de jeunes plantules trouvées dans un rayon d'un mètre autour des pieds plantés ; Nombre d'espèces apparues : nombre d'espèces présentes qui diffèrent des espèces initiales utilisées lors de la revégétalisation.

### ⊙ Classement des modalités et recherche d'un indicateur de réussite

Dans l'approche globale, une typologie des zones revégétalisées permettant de les classer en ensembles cohérents a été réalisée, afin de réduire la variabilité générale et de faciliter leur comparaison.

Cette typologie a produit 3 ensembles cohérents ou clusters :

- Le cluster 1 est caractérisé par des zones de faible altitude, à forte pluviosité, peu ventées et revégétalisées par plantation, avec utilisation de topsoil
- Le cluster 2 correspond aux zones de pluviosité moyenne peu pentues, mais ventées, revégétalisées par plantation, avec un nombre d'espèces relativement important, sur un substrat meuble
- Le cluster 3 correspond aux zones à faible pluviosité, souvent avec banquettes et talus (pente), peu soumises aux vents et avec peu d'espèces végétales apportées.

La figure 3 exprime schématiquement le principe mathématique de la mesure de la réussite de la restauration : l'inertie, ou la variabilité exprimée par l'extension du nuage de points des modalités de revégétalisation projetées sur 3 axes d'une Analyse en Composante Principale (ACP), est orientée de telle sorte que les variables qui la déterminent sont majoritairement exprimées sur l'axe 1. Les variables ayant un effet positif sur la réussite (notamment variables exprimant la productivité et la diversité) sont orientées du côté positif de cet axe. La résultante de leur projection orthogonale sur cet axe donne ainsi une valeur satisfaisante du degré de réussite de la restauration écologique du milieu.

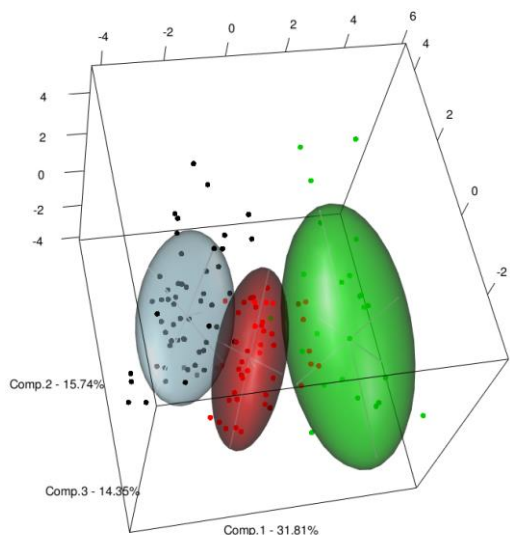


Figure 3 : Projection des individus (quadrats des modalités de revégétalisation) sur les 3 premiers axes de l'ACP. Le groupe en vert correspond aux meilleures réussites en termes d'évolution vers la restauration écologique du milieu, réussite exprimée par l'axe 1 de l'ACP (comp. 1).

L'illustration de la figure 4 montre comment se classent les modalités de revégétalisation étudiées, avec trois exemples mis en évidence, sur la base de cet indicateur synthétique de réussite.

Les points (quadrats) à droite sont les mieux classés, ce qui indique une forte probabilité d'évolution vers une restauration écologique satisfaisante, tandis que les points à gauche correspondent à une moindre réussite et évoluent plus lentement.

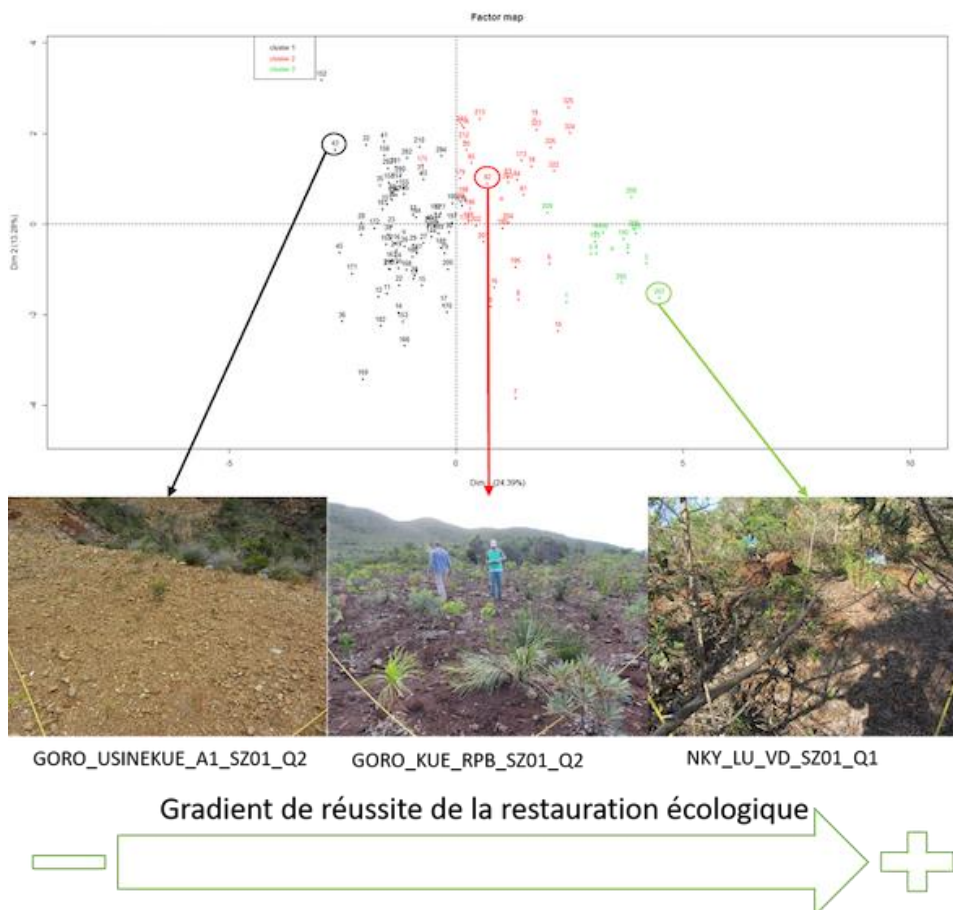


Figure 4 : Illustration de la réussite de la restauration écologique en fonction de différentes modalités des moins réussies (à gauche) au plus réussies (à droite).



Les photos ci-dessous illustrent deux exemples de terrains revégétalisés avec une réussite satisfaisante, l'un réalisé par semis hydraulique, l'autre par plantation. Dans le cas du semis hydraulique, il faut préciser que la très bonne réussite de cet exemple peut être reliée en partie à un bon état des lots de graines utilisées, compte-tenu de la très forte densité de développement des plantes.



*Deux terrains revégétalisés présentant un niveau de succès de restauration écologique jugé satisfaisant. En haut : Verse de l'exercice minier à Goro (semis hydraulique, 2008). En bas : Nakety, verse Domergue (plantation, 2003)*

## ETAPE 5 : MISE AU POINT D'UN INDICATEUR SYNTHÉTIQUE DE SUCCÈS DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Le modèle mathématique qui a été mis au point permet d'évaluer le succès d'une opération de revégétalisation quelques années après l'opération, sur la base de l'analyse de différents paramètres traduisant la productivité, la diversité végétale et la dynamique du système en évolution.

Cet indicateur, nommé IndicRest (Indicateur de restauration) a été informatisé. Il pourrait être mis sur un site Internet permettant aux entreprises ou aux collectivités concernées d'évaluer un site revégétalisé, afin de vérifier s'il évolue correctement vers une restauration effective du milieu.

Pour cela, une interface facile à utiliser a été mise au point : <https://indicrest.shinyapps.io/indicrest/>

L'interface se présente sous la forme d'un tableau dans lequel sont rentrées les données principales qui interviennent dans l'évaluation. Ces données sont obtenues lors du relevé réalisé avec la « fiche terrain » qui permet de caractériser le site revégétalisé.

La figure 5 montre cette interface, ainsi qu'une carte indiquant les coordonnées GPS du site concerné et sa notation en termes de succès de la restauration écologique du milieu (note sur 5 qui apparaît ici après le mot « Indicateur »).

The figure consists of two side-by-side screenshots from the IndiRest application interface.

The left screenshot shows a form titled "Typologie : typologie 1 si pluviométrie annuelle > 2093 l/m², altitude < 247 m, pente <= 22° et sans alizée, typologie 3 si pente > 22° et sans alizée, typologie 2 sinon." Below the title is a dropdown menu with the value "2" selected. The form contains several input fields, each with a "00" icon to its right, for the following variables: Longitude, Latitude, Année, Valeur de RECOUV\_TOT, Valeur de RECOUV\_HERB, Valeur de Nbr\_ind\_APP\_20m2, Valeur de Nbr\_ESP\_UTI\_20m2, Valeur de MORTALITE, Valeur de DEGAT, Valeur de Nbr\_recrués\_diff, Valeur de Nbr\_recrués\_identique, Valeur de MOY\_DIAM\_HERB\_UTI, and Valeur de MOY\_HAUT\_HERB\_APP. At the bottom of the form is an "Actualiser" button.

The right screenshot shows a map of a region in West Africa. A green location pin is placed on the map, and a white popup box displays the following information: "Latitude = -22.269494856, Longitude = 166.97412398", "Typologie = 1", and "Indicateur = 5". The map includes labels for "Réserve Spéciale de Faune et Flore du Kinkourou", "Parc National de la Rivière Bleue", "Mont Dore", "Mésa", and "Aire Marine Protégée Yves Merlet". The map is powered by Leaflet and OpenStreetMap contributors.

Figure 5 : Capture de deux écrans de l'interface IndiRest présentant (i) le tableau des variables à remplir (cas de la typologie 2) et (ii) la cartographie présentant localisation, typologie et note de l'indicateur de réussite

## **PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS ISSUS DU PROGRAMME RECOSYNTH**

Parmi les nombreuses opérations et essais de revégétalisation sur terrains miniers réalisés depuis une trentaine d'années, la réussite en termes d'évolution vers une restauration écologique du milieu varie beaucoup selon les cas. Les facteurs qui influencent cette réussite sont nombreux et agissent au travers d'interactions complexes. L'analyse mathématique a permis dans un premier temps de classer les zones revégétalisées étudiées en trois ensembles bien distincts, puis de synthétiser l'influence de douze variables prépondérantes.

Cette analyse a ainsi permis la mise au point d'un **indicateur synthétique de réussite de la restauration** sur la base de la projection graphique des variables qui déterminent la restauration sur l'axe 1 d'une ACP. Cet indicateur sera disponible sur un site Internet pour les entreprises et les collectivités.

**Parmi les 67 modalités** de revégétalisation étudiées dans le cadre du projet RECOSYNTH, **une douzaine montre une évolution positive** vers une véritable restauration écologique. Pour ces terrains, on peut considérer qu'un retour à un état de maquis complexe résilient est très probable d'ici 15 à 30 ans selon les cas. **Une trentaine** sont plutôt **dans la moyenne** et nécessiteront probablement un peu plus de temps. Les autres évolueront encore plus lentement, sauf à les enrichir de nouveau.

Un suivi de l'évolution des terrains revégétalisés, en utilisant cet indicateur de réussite IndicRest, peut être ainsi préconisé sur une période d'une dizaine d'années à partir de la 4<sup>ème</sup> année (puis au moins 2 fois entre 5 et 10 ans), afin de s'assurer que le système revégétalisé évolue correctement **vers la production d'un véritable écosystème fonctionnel**.

Par ailleurs, les diverses approches réalisées permettent de faire ressortir l'importance des effets positifs de certains facteurs ou pratiques.

### ⊙ **Effet topsoil :**

**L'utilisation du topsoil apparaît essentielle à la réussite de la restauration écologique** des milieux revégétalisés. Les différences avec les substrats sans sol sont très nettes malgré une grande variabilité des résultats et ressortent à travers plusieurs approches, ce qui conforte clairement l'idée que le topsoil doit être l'objet d'un soin particulier. Le topsoil a favorisé la croissance des plantes (du fait notamment de sa composition physico-chimique et microbiologique), ainsi que leur reproduction (floraison, fructification). Il a également augmenté fortement la diversification des espèces végétales (du fait notamment de sa banque de graines) et donc la complexification garante d'une stabilité à long terme (résilience).

### ⊙ **Différences entre les substrats sans sol :**

En ce qui concerne les substrats sans sol, **les latérites donnent globalement de meilleurs résultats que les saprolites**. Cependant, les latérites fines sans charge caillouteuse sont moins favorables que le même substrat comportant des cailloux et qu'un substrat saprolitique, probablement en raison d'une tendance des substrats trop fins à s'indurer et à créer de l'anaérobiose peu propice aux plantes.

Lorsqu'on a affaire à un **substrat trop fin**, il peut donc être intéressant de le mélanger avec un substrat plus grossier ou de lui apporter suffisamment de **matière organique** pour l'aérer et éviter l'induration.

A l'inverse, un substrat trop **pauvre en particules fines** (certains stériles miniers) nécessite d'être mélangé, lorsque c'est possible, avec un substrat riche en particules fines.



#### ⊙ Effets des intrants apportés :

L'analyse statistique montre une supériorité nette des sols amendés **en matière organique** par rapport à ceux non amendés. L'apport de boue de STEP ou de Fientes de poules (avec et sans copeau de bois) donne les meilleurs résultats en termes de croissance des plantes. L'intérêt d'un tel amendement paraît essentiel pour des substrats sans sol (latérite, saprolite, stériles divers), mais reste aussi important en présence de topsoil, en raison de la faible teneur en carbone des sols ultramafiques néo-calédoniens.

En ce qui concerne la **fertilisation minérale**, les engrais à diffusion lente, utilisés donnent également de bons résultats. Cependant, l'apport d'engrais minéraux ne dispense pas nécessairement d'un apport de matière organique, notamment lorsqu'on a affaire à des substrats sans sol ou à des sols pauvres, car l'effet des minéraux s'exerce sur un temps assez court, alors que l'effet d'un amendement organique de type boue de STEP est plus durable. Les résultats obtenus montrent également que l'apport des boues de STEP doit être prioritairement réalisé sous forme d'ajout dans le trou de plantation car son épandage a tendance à favoriser l'apparition d'espèces exotiques potentiellement envahissantes présentes dans ces boues (nécessité d'hygiénisation des boues de STEP).

#### ⊙ Exposition aux vents :

L'analyse statistique démontre clairement ici que les terrains très exposés aux vents sont moins productifs que les autres. Il en résulte que les terrains fortement soumis aux vents doivent être préalablement plantés, en bordure, avec des espèces pouvant faire **fonction de brise-vent** comme le Bois de fer (*Casuarina collina*). Ces arbres pourront être coupés lorsque le système revégétalisé est suffisamment développé pour être résistant et résilient.

#### ⊙ Effet du Gaïac (*Acacia spirorbis*) :

Les analyses sur un certain nombre de terrains comportant des densités plus ou moins importantes de Gaïac montrent que le Gaïac peut avoir un effet positif sur la réussite de la restauration. Cependant, les zones à faible densité en Gaïac sont mieux classées en réussite de la restauration que celles à forte densité. **Une forte densité de cette espèce dans les plantations est défavorable** à l'augmentation de la diversité en raison notamment du caractère grégaire du Gaïac. On peut donc éventuellement prévoir une utilisation du Gaïac, mais uniquement à **faible proportion**, bien dispersé au milieu d'autres espèces. Des interrogations restent malgré tout entières quant à l'évolution définitive des systèmes où le gaïac a été utilisé afin de déterminer si ce dernier ne bloque pas tardivement la succession écologique. Un suivi doit donc être assuré, voire de nouvelles expérimentations menées.

✓ *Préconisation : Dans l'état actuel des connaissances, il est admis une utilisation du Gaïac à une densité comprise entre 0,1 et 0,2 plants/m<sup>2</sup> et à des altitudes moyennes à basses et sur des zones où l'espèce est déjà présente à proximité. Il ne devra pas par ailleurs, représenter plus de 10% de la composition spécifique des espèces*

#### ⊙ Autres pratiques à promouvoir :

Les analyses globales soulignent par ailleurs l'intérêt de certaines pratiques retrouvées souvent dans les modalités de revégétalisation les mieux classées en termes d'évolution positive vers une restauration effective du milieu. Ces pratiques méritent d'être prises en compte le plus souvent possible, en particulier les suivantes :

- La présence d'écosystèmes naturels proches des zones à revégétaliser est un point important : cette condition favorise la diversification rapide des systèmes revégétalisés, grâce à l'apport de graines provenant de semenciers. **Les entreprises minières doivent penser à laisser des ilots consistants de maquis ou forêt à proximité de chaque zone décapée tout en intégrant une vision paysagère de continuités écologiques.**

- L'utilisation d'un nombre élevé d'espèces initiales apportées lors de la revégétalisation favorise la montée en diversité et l'évolution rapide vers un écosystème complexe plus résilient.
  - ✓ *Préconisation : A la plantation une diversité minimale de 20 espèces différentes, en respectant une diversité minimale de 10 espèces par surface unitaire de 100 m<sup>2</sup> Aucune espèce n'excédera 20% du nombre total de plants attendus. Le succès de la restauration sera d'autant plus grand que la diversité introduite sera grande.*
- Le griffage du sol lorsqu'il est plus ou moins induré et le sous-solage du substrat induré avant l'apport du topsoil accélèrent également la réussite de la restauration écologique.
- L'utilisation d'hydro-rétenteur et de paillage ressort également comme favorable et leur généralisation, notamment dans les milieux à pluviosité non régulière, est préconisée.
- Enfin la mise en défens peut être particulièrement utile dans les sites fréquemment visités par des herbivores envahissants.

#### ⊙ **Effet des *Gymnostoma* :**

L'analyse statistique des données de l'enquête n'a pas permis de faire ressortir l'importance de ce genre, car il n'a pas été ciblé spécifiquement au cours de l'enquête. Cependant, les analyses faites sur différents échantillons de sol prélevés sous les plantes montrent clairement les **effets bénéfiques de ce genre**, notamment l'enrichissement du sol en humus et une nette augmentation de la teneur en azote.

Les observations fines sur le terrain démontrent clairement le grand intérêt des espèces de ce genre. Les Casuarinacées, dont fait partie cet arbre, sont des plantes fixatrices d'azote grâce aux bactéries du genre *Frankia* en symbiose avec les racines, et sont également fortement mycorhizées.

Les observations montrent que les *Gymnostoma* produisent une **litière consistante** qui héberge très souvent une importante quantité de plantules de la même espèce et d'espèces différentes (fig. 5).

Son influence favorable sur les autres plants alentours apparaît aussi à l'observation. Le genre *Gymnostoma* est le genre le plus abondant parmi les **plantes fixatrices d'azote** sur maquis miniers. Bien adapté et présentant souvent une bonne croissance, il convient de l'inclure dans les listes des essences à implanter à chaque fois qu'il est présent dans le milieu initial. Il convient de l'intercaler entre les autres espèces, car il est bien connu que la fixation d'azote liée aux symbiotes bactériens d'une plante profite assez rapidement aux plantes non fixatrices alentours. De manière plus globale, l'utilisation de **plantes fixatrices d'azote** dont les légumineuses est à préconiser dès lors que ces dernières ne présentent pas un caractère grégaire.

#### ⊙ **Utilisation d'espèces exotiques :**

D'une manière générale, l'utilisation d'espèces exotiques reste à proscrire, sauf dans des cas très particuliers et de façon transitoire. Par exemple dans un objectif de stabilisation superficielle rapide des substrats, afin de lutter contre un risque élevé d'érosion (forte pente, zone temporaire...).



Dans ce cas, la possibilité d'utiliser des variétés stériles (et non OGM) reste à approfondir.

*Figure 5 : Arbuste de *Gymnostoma* à Mont Dore-Rouvray, montrant une litière importante favorisant le développement de nombreux plants.*

Il est difficile pour un projet mené sur une durée assez limitée d'exploiter de manière très fine la grande quantité des données obtenues ici. Par exemple, les liens entre certaines caractéristiques de régions (altitude, pluviosité, etc.) et la réussite de la restauration n'ont pas été fouillés, notamment en raison de la faiblesse des données recueillies sur ces aspects. De telles questions pourront être traitées ultérieurement, notamment lorsque d'autres données seront rajoutées à la base de données. L'un des intérêts de cette base de données est en effet de permettre une exploitation régulière des données à mesure qu'elles sont capitalisées.

**La mise à la disposition des utilisateurs de l'indicateur synthétique de réussite** de la revégétalisation, dans l'optique d'une restauration écologique du milieu devrait être réalisée dans les prochains mois.

La « fiche terrain », accompagnée de la « fiche mémo » (voir annexes), permettant le relevé des données sur l'état des zones revégétalisées, après quelques années de développement, est opérationnelle.

On pourrait préconiser de saisir *a minima* chaque essai de revégétalisation à but expérimental dans la base de données du projet RECOSYNTH. Ceci permettrait d'enrichir les connaissances pour les années futures, de fournir des données encore plus fiables sur l'évolution des milieux restaurés et de proposer, au regard des résultats obtenus, des améliorations sur les méthodologies employées en restauration. Il conviendrait, par exemple, de refaire un point d'analyse dans une dizaine d'année sachant que les protocoles employés durant cette dernière décennie tant par les entreprises minières que dans le cadre de travaux de recherche apporteront des résultats encore plus robustes.

Un travail de recherche plus approfondi que les données collectées ici, sur l'importance du genre *Gymnostoma* en restauration écologique des milieux miniers doit être engagé dans les prochaines années, afin notamment de quantifier sur quelques années l'apport de ce genre au sol et au développement des espèces végétales qui l'entourent. Ce travail pourra commencer par un complément d'enquête concernant les effets de ces plantes sur la dynamique générale de l'écosystème naissant, sur quelques sites revégétalisés à diverses périodes. Nos observations indiquent en effet, qu'une enquête plus approfondie pourrait produire des conclusions intéressantes. Il en est de même pour le Gaïac pour lequel une étude approfondie devrait permettre de fixer définitivement les modalités d'utilisation. Toutefois, les éléments apportés ici donnent déjà des orientations importantes sur son emploi.

Enfin, l'influence des conditions climatiques sur la réussite de la revégétalisation par semis n'a pas pu être traitée ici ; mais il s'agit d'un aspect important, à adresser dans les prochaines années. En effet, la germination des graines (même lorsque celles-ci sont techniquement bien traitées), reste fortement dépendante notamment de la pluviosité dans les mois qui suivent le semis ; mais nous ne savons pas de façon claire quelle importance ont ces aléas dans la réussite de la revégétalisation. Une étude approfondie de ces aspects, en fonction des régions, permettrait de mieux maîtriser les facteurs favorables à la mise en œuvre de semis hydraulique et de semis sec.

Les observations réalisées sur certains terrains revégétalisés par semis hydraulique confortent clairement un point de vue déjà souligné dans d'autres travaux : la maîtrise de la qualité et du traitement des graines est essentielle pour la réussite des semis. Les responsables concernés par la restauration des milieux miniers doivent penser à favoriser la création d'une filière graine efficace ou d'une entreprise spécialisée dans toutes les étapes de cette filière (obtention, conservation, traitement des dormances, etc.).



## 2. RECOMMANDATIONS POUR LE SUIVI DE LA RÉUSSITE DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

L'étude RECOSYNTH résumée précédemment utilise une modélisation statistique basée sur l'ensemble des données de collectées dans le cadre du projet pour classer les terrains revégétalisés en termes de réussite de la restauration écologique du milieu.

Le principe général est d'abord d'utiliser les relevés obtenus grâce à la « fiche de terrain pour le suivi », d'en extraire des indices ou des valeurs et de les rentrer dans un écran simplifié de la base de données, pour classer le terrain en question.

Dans un premier temps, un choix de critères définissant le type de terrain permet de le classer dans une des 3 catégories définies ci dessous :

- Le cluster 1 est caractérisé par des zones de faible altitude, à forte pluviosité, peu ventées et revégétalisées par plantation, avec utilisation de topsoil
- Le cluster 2 correspond aux zones de pluviosité moyenne peu pentues, mais ventées, revégétalisées par plantation, avec un nombre d'espèces relativement important, sur un substrat meuble
- Le cluster 3 correspond aux zones à faible pluviosité, souvent avec banquettes et talus (pente), peu soumises aux vents et avec peu d'espèces végétales apportées.

Ensuite 12 propriétés sélectionnées mathématiquement comme étant les plus influentes sur la réussite de la restauration sont utilisées et leur résultante (leurs effets additifs), projetés sur l'axe 1 de l'ACP, permet de donner une note de réussite de la restauration.

La première étape de tout plan de restauration écologique consiste à définir les différentes conditions du terrain sur lequel va être appliquée la revégétalisation (cf. annexe : « Fiche état initial de la zone à restaurer » et « fiche mémo état initial » en appui-annexes 1 & 2). Ce travail est à réaliser avant la mise en oeuvre du chantier de revégétalisation.

Après que le chantier de revégétalisation à vocation de restauration écologique ait été réalisé, il convient de suivre son évolution afin de contrôler sa conformité aux prescriptions des arrêtés établis par les services instructeurs. Nous préconisons de réaliser les premières années un suivi technique simple, puis un suivi avec production de l'indicateur de réussite à partir de la 4<sup>ème</sup> année et *a minima* deux fois entre 5 ans et 10 ans.

Les suivis effectués permettent d'ajuster les pratiques ou les espèces utilisées. Les reprises de végétalisation diffèrent selon les modalités de végétalisation :

- Dans le cas où seul un topsoil a été utilisé, il convient alors d'intervenir soit par plantation soit par ensemencement en apportant des mélange d'espèces de composition ou de diversité complémentaire de celles issues de la banque de graines du topsoil épandu.
- Dans le cas d'une plantation, on effectuera le remplacement des plants morts par des plants sains de la même espèce ou d'une autre espèce, mais tout en respectant la nécessité d'une diversité spécifique satisfaisante.  
✓ *Préconisation : Reprise des plantations pour maintenir une densité minimale de 0,8 plant/m<sup>2</sup> ou 80 % des plants initiaux (pour une plantation à une densité de 1 plant / m<sup>2</sup>)*
- Dans le cas d'ensemencement, il convient de réappliquer un semis tout en respectant là encore la diversité spécifique telle que préconisée. Selon l'objectif recherché, le mélange initial pourra être modifié soit pour réintroduire de nouvelles espèces (améliorer la diversité) soit pour renforcer le couvert avec des espèces qui ont bien germées (lutter contre l'érosion).

A plus long terme (au delà de 10 ans), afin d'évaluer si le système est sur une bonne trajectoire de restauration, il conviendra de réaliser un suivi plus espacé et d'évaluer la réussite à partir de l'indicateur.

Le suivi annuel ainsi que les bilans quinquennal et décennal comportent nécessairement les informations contenues dans les fiches de suivi dont les modalités de mise en œuvre sont décrites ci-après.

### **REALISATION DES RELEVÉS DE TERRAIN**

---

Afin que le relevé réalisé soit représentatif du terrain revégétalisé dans son ensemble, il est préconisé de réaliser des relevés sur plusieurs carrés de végétation dénommés **quadrats**.

**Si la technique de revégétalisation est la plantation** la surface d'un quadrat doit être de **100 m<sup>2</sup>** (de préférence 10 m x 10m).

**Si la technique utilisée est l'ensemencement** (essentiellement hydraulique), la surface sera alors de **20 m<sup>2</sup>** (de préférence 5 m x 4 m).

**Cinq quadrats sont préconisés.** Ils doivent être implantés de telle façon qu'ils soient représentatifs de l'ensemble du terrain, c'est-à-dire positionnés dans des endroits contenant la diversité des cas, en termes de topographie et de densité de végétation.

Si le terrain est particulièrement hétérogène (par exemple sur une talus), il est préférable de positionner un transect passant par les divers cas d'hétérogénéité et placer les 5 quadrats régulièrement le long du transect (voir fiche mémo pour suivi)



*Mise en place d'un quadrat sur une zone de plantation*

Une fois les quadrats positionnés, « la fiche terrain » (annexe 3) doit être remplie avec soin par un technicien. Les principaux paramètres à relever sont précisés ci-dessous et détaillés dans la fiche « mémo » (annexe 4)

- Remplir les informations générales (date site, mine, zone) et le nom de la modalité

- Remplir ensuite les différentes parties définissant l'état des lieux au moment du relevé :
  - *Relever les éléments de référence du quadrat : le numéro de quadrat est donné par le technicien selon l'ordre qu'il souhaite, l'important étant de pouvoir ensuite le retrouver ; ainsi que coordonnées GPS et photo lorsque c'est possible*
  - *Cocher s'il y a eu mise en place d'ouvrage de génie écologique et préciser l'état général de l'ouvrage*
  - *Evaluer l'état d'érosion du terrain*
  - *Evaluer ensuite le taux de recouvrement du quadrat par les végétaux. Pour le recouvrement au sol : évaluer les % qui seront utilisées pour le calcul des indices (1 à 5) qui seront saisis pour le calcul de l'indicateur de réussite (indicRest). L'évaluation se fait selon une appréciation approximative, mais qui doit être réalisée toujours de la même manière. Pour le recouvrement, en ligneux il faut prendre en compte la projection de la surface horizontale de l'arbuste sur le sol*
  - *Relever l'état de santé du peuplement, intégrant mortalité, état de l'écosystème, les éventuelles dégradations et leur degré d'impact ainsi que la présence de champignons. La mortalité est à préciser, autant que possible, si les plants morts sont non visibles, il convient de se baser sur les emplacements logiques des plants ou sur les plans de plantation (fortement préconisés) s'ils existent*
  - *Des relevés sont ensuite effectués sur les espèces végétales utilisées et apparues après revégétalisation: il faut avoir au préalable la liste des espèces qui ont été plantées au cours de la revégétalisation. Se conformer à la « fiche mémo ».*

## **GUIDE D'UTILISATION DE L'INDICATEUR GLOBAL**

---

Lorsqu'un site a été revégétalisé, il convient de vérifier après quelques années si l'opération est sur la voie d'une restauration écologique effective du milieu. L'indicateur global de réussite mis au point dans le cadre de ce projet RECO SYNTH pourra être utilisé à cet effet.

Nous préconisons qu'une telle évaluation, avec la production de l'indicateur IndicRest soit effectuée à partir de la 4<sup>ème</sup> année puis au minimum 2 fois entre 5 ans et 10 ans ; et cela bien sûr indépendamment du suivi technique simple de la survie des plants qui doit être réalisé au cours des premières années.

### ⊙ **Présentation générale**

IndicRest (Indicateur de Restauration) est une interface web permettant, à partir de données collectées sur une trentaine d'années dans les mines de Nouvelle-Calédonie, de déterminer un indicateur de réussite ou de performance de la restauration écologique du milieu. Cette interface a été réalisée en utilisant Shiny, un outil développé par R Studio qui permet de créer des applications dynamiques pour le Web sans avoir à écrire des codes HTML. Shiny est disponible sous la forme d'un package R. Une application Shiny se décompose en deux parties. On dispose de 2 scripts, un script nommé ui.R (user-interface) qui permet de contrôler l'apparence et la mise en page de l'application et un script server.R qui contient les instructions qui seront interprétées par le serveur.



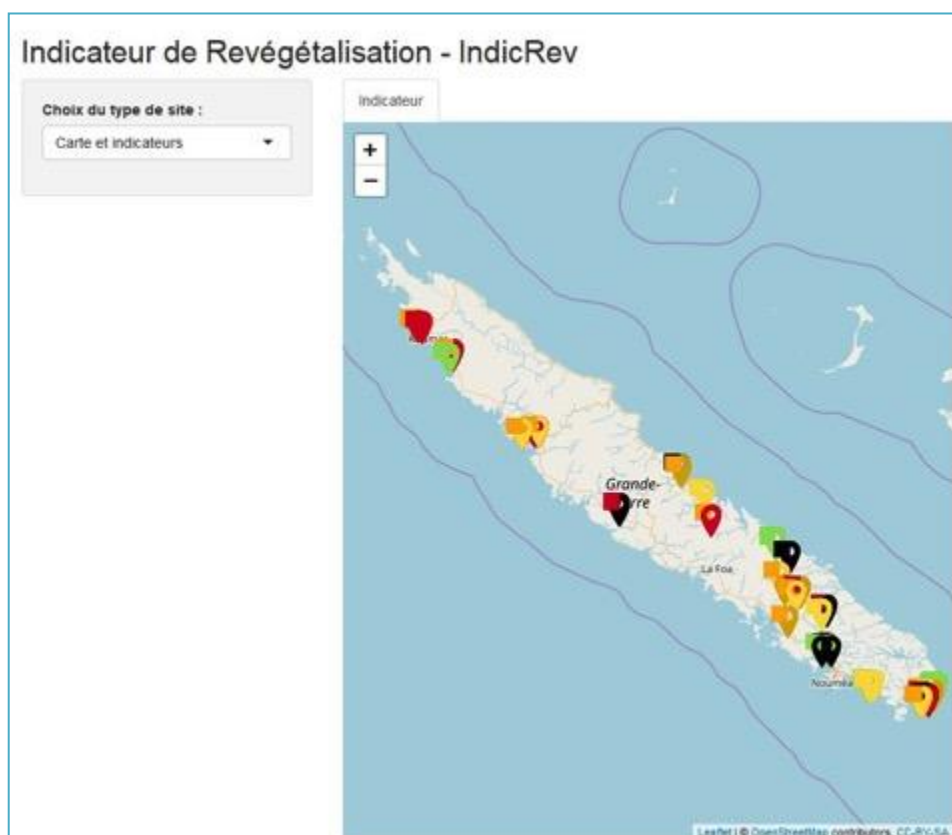
L'objectif d'IndicRest est de permettre facilement :

- de saisir les données relevés sur le terrain directement sur un écran simple,
- de calculer et visualiser spatialement l'indicateur statistique de réussite sans avoir aucune connaissance du logiciel R.

Les différentes étapes d'utilisation de cette interface sont décrites ci-après.

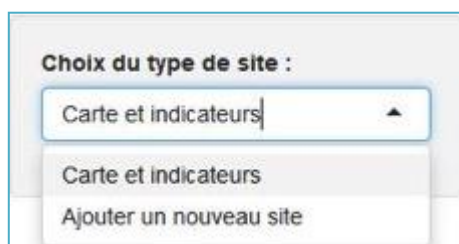
○ **Visualisation des indicateurs pour les sites existants**

Depuis le navigateur, aller sur le site web (<https://indicrest.shinyapps.io/indicrest/>). La page ci-dessous apparaît à l'écran.



*Page à l'ouverture du site.*

Une fois la fiche de relevé du site étudié réalisée, on peut intégrer les valeurs nécessaires pour la notation. Pour cela cliquer sur l'option "Ajouter un nouveau site".



*Choix entre la visualisation de la carte avec les indicateurs ou l'ajout d'un nouveau site.*

### ○ Téléchargement du fichier de données collectées lors du suivi de terrain

La première étape consiste à rentrer la liste des espèces relevées dans chacun des quadrats ainsi que la densité de chacune de ces espèces (soit le nombre d'individus par espèce). Ce fichier de relevés se présente sous forme d'un tableur excel à 2 entrées, avec les différents quadrats en ligne et les différentes espèces en colonne.

Il doit être réalisé à la fois pour les espèces utilisées et pour les espèces apparues (figures ci-dessous). Ces deux fichiers créés doivent être enregistrés au format CSV (visible sur Excel lorsque l'on utilise la commande « enregistrer sous ») en spécifiant pour chaque quadrat les données demandées dans la fiche terrain. Il ne faut pas de cellules sans valeurs. Cette saisie permet un calcul automatique des indices de diversité (Shannon et Simpson) pris en compte comme variable pour le calcul de l'indicateur de réussite quelle que soit la typologie.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	QUAD	Costularia comosa	Costularia pubescens	Davallia sp	Machaerina deplanchei	Nephrolepis sp	Psilotum nudum	Schoenus neocaledonicus
2	GORO_USINE_RDP_SZ01_R1_Q1	18	0	0	24	0	0	39
3	GORO_USINE_RDP_SZ01_R1_Q2	23	0	0	20	0	1	27
4	GORO_USINE_RDP_SZ01_R1_Q3	56	0	1	37	17	0	54
5	GORO_USINE_RDP_SZ01_R1_Q4	37	0	0	17	0	0	31
6	GORO_USINE_RDP_SZ01_R1_Q5	37	1	0	29	0	0	23

Exemple montrant l'écran où doivent être intégrés les deux fichiers CSV (en haut) et comment ils doivent être présentés (en bas). Les 5 lignes correspondent aux 5 quadrats constituant les répétitions statistiques demandées dans la fiche de terrain pour le suivi.

### ○ Choix de la typologie (1, 2 ou 3)

La figure ci-dessous montre le contenu de l'écran permettant de choisir la typologie (type de terrain). Cet écran apparaît automatiquement après le téléchargement des données.

La typologie 1 (choix par défaut) est associée aux zones non soumises aux alizés, avec une pluviométrie élevée, à des altitudes faibles et des pentes de terrain également faibles.

La typologie 2 est une zone soumise aux alizés, avec une pluviométrie moyenne et un sol ou substrat de type non induré.

La typologie 3 correspond à une zone non-soumise aux alizés, avec une pluviométrie faible et un écosystème dominant aux alentours du terrain comportant principalement des maquis ligno-herbacées.

La typologie 2 est choisie comme le complémentaire des typologies 1 et 3. Les seuils limites des valeurs de pluviométrie, altitude et pente pour chaque typologie sont notifiés sur l'écran.

### ○ Saisie des variables sélectionnées pour la notation

Une fois le choix de la typologie effectué, d'après les caractères généraux du terrain, un des 3 tableaux ci-dessous apparaît ; il permet de remplir les valeurs des variables sélectionnées pour cette typologie. Il faut alors

rentrer les données indiquées. Les données implémentées à ce niveau sont les moyennes des différents quadrats réalisés sur la zone. Il sera donc important que l'utilisateur ait rentré l'ensemble de ces données relevées sur le terrain et ait réalisé le traitement adapté à chaque variable (cf. « Fiche mémo » associée à la « fiche terrain pour le suivi »).

Tableaux pour rentrer les valeurs des variables sélectionnées pour les 3 typologies 1, 2 et 3.

Les indicateurs peuvent alors être calculés et projetés géographiquement sur la carte avec une couleur reflétant la qualité de la restauration du milieu, obtenue après plusieurs années. Les notes sont d'abord calculées pour chaque quadrat, puis la moyenne des quadrats apparaît automatiquement. A titre d'exemple, les valeurs des variables correspondant à la typologie 1 pour un bon et un mauvais résultat sont données ci-dessous.

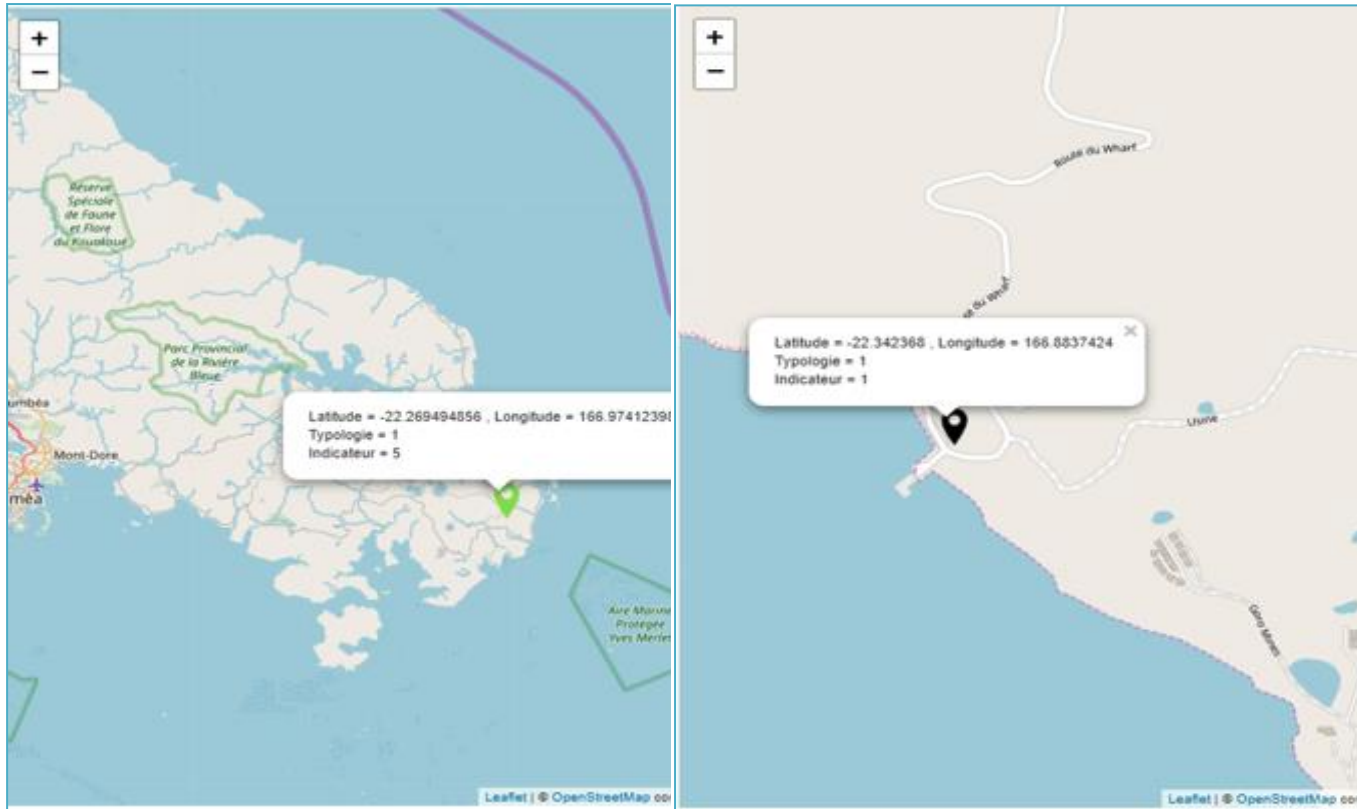
Typologie : typologie 1 si pluviométrie annuelle > 2093 l/m <sup>2</sup> , altitude < 247 m, pente <= 22° et sans alizée, typologie 3 si pente > 22° et sans alizée, typologie 2 sinon. <input type="text" value="1"/>	Typologie : typologie 1 si pluviométrie annuelle > 2093 l/m <sup>2</sup> , altitude < 247 m, pente <= 22° et sans alizée, typologie 3 si pente > 22° et sans alizée, typologie 2 sinon. <input type="text" value="1"/>
Longitude <input type="text" value="166.97412398"/>	Longitude <input type="text" value="166.8837424"/>
Latitude <input type="text" value="-22.269494856"/>	Latitude <input type="text" value="-22.342368"/>
Année <input type="text" value="2002"/>	Année <input type="text" value="2009"/>
Valeur de ETAT_GENERAL <input type="text" value="2.6"/>	Valeur de ETAT_GENERAL <input type="text" value="1.2"/>
Valeur de RECOUV_LIGN <input type="text" value="47.5"/>	Valeur de RECOUV_LIGN <input type="text" value="3"/>
Valeur de Nbr_ESP_APP_20m2 <input type="text" value="2.96"/>	Valeur de Nbr_ESP_APP_20m2 <input type="text" value="0.68"/>
Valeur de DEGATFOLIAIRE <input type="text" value="8.4"/>	Valeur de DEGATFOLIAIRE <input type="text" value="5.2"/>
Valeur de DEGAT <input type="text" value="0"/>	Valeur de DEGAT <input type="text" value="0"/>
Valeur de Nbr_recrués_identique <input type="text" value="9.4"/>	Valeur de Nbr_recrués_identique <input type="text" value="1.4"/>
Valeur de MOY_HAUT_HERB_UTI <input type="text" value="91.24"/>	Valeur de MOY_HAUT_HERB_UTI <input type="text" value="0"/>
Valeur de MOY_DIAM_HERB_UTI <input type="text" value="28.31"/>	Valeur de MOY_DIAM_HERB_UTI <input type="text" value="0"/>
Valeur de MOY_DIAM_LIGN_UTI <input type="text" value="27.3"/>	Valeur de MOY_DIAM_LIGN_UTI <input type="text" value="1.2320"/>
Valeur de MOY_HAUT_LIGN_APP <input type="text" value="20.91"/>	Valeur de MOY_HAUT_LIGN_APP <input type="text" value="15.57"/>
<input type="button" value="Actualiser"/>	<input type="button" value="Actualiser"/>

Exemple de saisie de valeurs respectivement pour les zones correspondant à un terrain bien classé et un autre mal classé, parmi les sites de la typologie 1.

La **note finale** apparaît dans la case « indicateur » et va de 1 (mauvaise note) à 5 (meilleure note) et correspond en même temps à des marqueurs de couleurs respectivement noire, rouge, orange, jaune et vert du point de coordonnées GPS (figure ci-dessous).

Il est possible de zoomer et de se déplacer sur la carte à l'aide de la souris.





*Représentation spatiale des indicateurs respectivement pour les zones correspondant à un bon et un mauvais résultat, parmi les sites de la typologie 1. La note est donnée dans la ligne « Indicateur ».*

---

## ANNEXES

---

- 1 : *Fiche terrain Etat initial de la zone à restaurer*
- 2 : *Mémo en appui à la fiche Etat initial de la zone à restaurer*
- 3 : *Fiche terrain pour le suivi de la restauration*
- 4 : *Mémo en appui à la fiche terrain pour le suivi*









**I. Informations générales sur la modalité**

Mine : \_\_\_\_\_ Site : \_\_\_\_\_ Zone : \_\_\_\_\_ Sous-Zone : \_\_\_\_\_

Nom de la modalité : \_\_\_\_\_ Coordonnées GPRS : Lat : \_\_\_\_\_ Long : \_\_\_\_\_

Surface (exprimé en m<sup>2</sup>) : \_\_\_\_\_

Designation de la modalité :  Banquette  Bord de piste  Décharge  
 Ravine  Talus  Verse  
 Autre : \_\_\_\_\_

Orientation de la modalité (dos à la pente) : \_\_\_\_\_

Altitude (en m) : \_\_\_\_\_ Pente (en degré) : \_\_\_\_\_

Moyenne des pluviométries cumulées annuelles (exprimée en mm) : \_\_\_\_\_  
 Moyenne des températures annuelles (exprimée en °C) : \_\_\_\_\_

Technique de restauration :  Plantation (PL)  Semis hydraulique (SH)  Semis à sec (SS)  
 PL + SH  PL + SS  Rien  Autre : \_\_\_\_\_

Nombre d'espèces utilisées : \_\_\_\_\_

Densité (PL : nbr de plant au m<sup>2</sup> SH et SS : nombre de graines au m<sup>2</sup>) : \_\_\_\_\_

Génie écologique :  Fascine  Géofilet  Mur bois  Autre : \_\_\_\_\_

Travail du sol :  Ripage  Sous-solage  Décompactage  Autre : \_\_\_\_\_

Profondeur du travail du sol (exprimé en cm) : \_\_\_\_\_ Nombre de passage : \_\_\_\_\_

Orientation par rapport à la pente :  Parallèle  Perpendiculaire  Croisé  Diagonale

Utilisation de topsoil :  oui  non Provenance : \_\_\_\_\_  
 Epaisseur : \_\_\_\_\_  
 Méthode de stockage :  Etalé  En tas Hauteur de stockage : \_\_\_\_\_

Epaisseur étalée : \_\_\_\_\_

Utilisation hydrofugant :  oui  non Quantité : \_\_\_\_\_  
 Nom du produit : \_\_\_\_\_ Modalité d'utilisation :  sec  humide

Utilisation de paillage :  oui  non Type : \_\_\_\_\_

Protection anti-cerfs :  oui  non Type : \_\_\_\_\_

Intrants utilisés : \_\_\_\_\_ Date des apports : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Type	Libellé	Quantité	Méthode d'apport

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

**II. Description du terrain**

Type de substrat en place :  Latérites  Latérites jaunes  Saprolites  Topsoil  Tout venant

Induration :  Meuble  Indure

Terre fine :  < 5%  de 5% à 15%  de 15% à 30%  de 30% à 50%  > 50%

Type de pierrosité majeure :  Graviers  Cailloux  Pierres  Grosses pierres  Blocs  
 Indice :  < 5%  de 5% à 15%  de 15% à 30%  de 30% à 50%  > 50%

Type de pierrosité secondaire :  Graviers  Cailloux  Pierres  Grosses pierres  Blocs  
 Indice :  < 5%  de 5% à 15%  de 15% à 30%  de 30% à 50%  > 50%

Nature de l'écosystème dominant environnant :  forêt dense humide  maquis arbustifs  maquis ligno-herbacés  maquis paraforestiers  
 sol nu  Autre : \_\_\_\_\_

Hauteur de la canopée : \_\_\_\_\_ Distance à la parcelle : \_\_\_\_\_ Position :  sous le vent  ou non

11

12

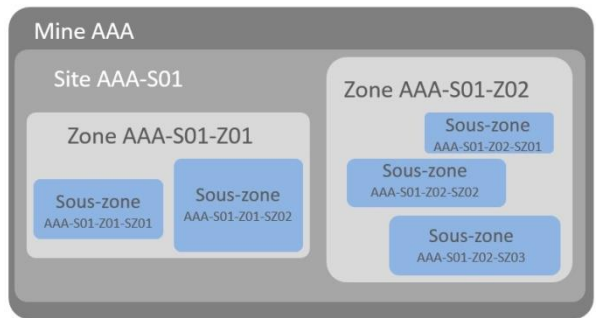
13

14

1

Le nom de la modalité est un code basé sur l'imbrication de différentes entités allant d'une zone géographique large (la « Mine ») à une zone géographique plus précise (la « Zone » ou la « Sous-zone »).

L'imbrication est montrée par le schéma ci-contre. Des exemples de noms et d'identifiants sont donnés dans le tableau ci-dessous



Cas 1

Il y a eu une seule modalité sur la sous-zone :  
 Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ01-1987

Cas 2

Il y a eu plusieurs modalités sur la sous-zone :  
 Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-1985  
 Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-1992  
 Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-2001

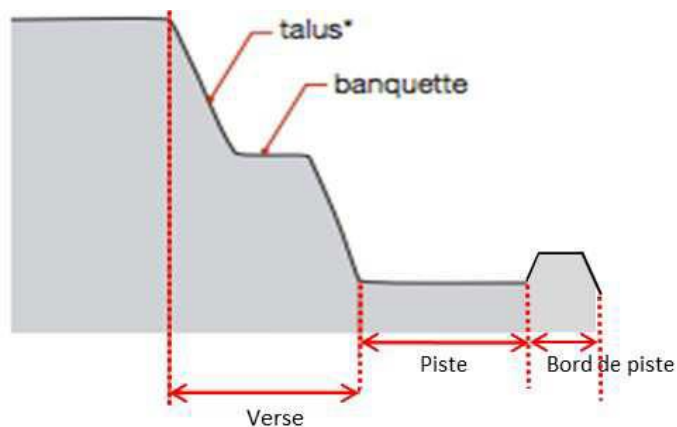
*Mine, Site, Zone et Sous-zone sont des entités géographiques imbriquées.*  
*Une Modalité est un traitement (ensemencement ou plantation) réalisé sur une Sous-zone à une date donnée. Il peut y avoir plusieurs modalités effectuées successivement sur une même Sous-zone (cas 2).*



Mine	Identifiant Mine(ID_MINE)	Site	ID_SITE	Zone	ID_ZONE	Sous-Zone	ID_SZONE	ID_MOD
Mine Amax	AMAX	Prony	AMAX_PNY	Campement INCO	AMAX_PNY_INCO	Sous-Zone 1	AMAX_PNY_INCO_SZ01	AMAX_PNY_INCO_SZ01_1978
Mine Cap Bocage	CBG	Mona	CBG_MONA	Mona sud	CBG_MONA_MS	Sous-Zone 1	CBG_MONA_MS_SZ01	CBG_MONA_MS_SZ01_2000
Mine Goro	GORO	Site BN4	GORO_BN4	verse ferry	GORO_BN4_VF	Sous-Zone 1	GORO_BN4_VF_SZ01	GORO_BN4_VF_SZ01_2009
Mine Koniambo	KNBO	Site 1	KNBO_S001	640_CON_OLC_PI	KNBO_S001_640	Sous-Zone 1	KNBO_S001_640_SZ01	KNBO_S001_640_SZ01_2011
Mine Kouaoua	KOUA	Site Méa	KOUA_MEA	Mont Martre Mont Réve	KOUA_MEA_MMMR	Sous-Zone 1	KOUA_MEA_MMMR_SZ01	KOUA_MEA_MMMR_SZ01_2008
Mine Kopéto	KPO	Site Bégonia	KPO_BEG	BN3	KPO_BEG_BN3	Décharge	KPO_BEG_BN3_DEC	KPO_BEG_BN3_DEC_2005
Mine Karembe	KRB	Site Michel 37	KRB_M37	Michel 37	KRB_M37_Z001	Carrière Sud-Ouest	KRB_M37_Z001_CSO	KRB_M37_Z001_CSO_2004
Mine Mont-Dore	MDORE	Site De Rouvray	MDORE_ROUV	Essai 567	MDORE_ROUV_Z001	Sous-zone 1. 1	MDORE_ROUV_Z001_SZ01_1	MDORE_ROUV_Z001_SZ01_1_1999
Mine Nakéty	NKY	Site Lucienne	NKY_LU	Verse domergue	NKY_LU_VD	Sous-Zone 1	NKY_LU_VD_SZ01	NKY_LU_VD_SZ01_2003
Mine Poum	POUM	Verse Fredo	POUM_FRED	Verse Fredo	POUM_FRED_Z001	Sous-Zone 1	POUM_FRED_Z001_SZ01	POUM_FRED_Z001_SZ01_2008
Mine Pinpin	PP	Verse AC2	PP_AC2	talus 1	PP_AC2_T01	Sous-Zone B	PP_AC2_T01_SZ-B	PP_AC2_T01_SZ-B_2013
Mine Thiébaghi	TBGH	Site 1	TBGH_S001	1er essai sur semis 2003	TBGH_S001_1ESS	Sous-Zone 1	TBGH_S001_1ESS_SZ01	TBGH_S001_1ESS_SZ01_2003
Mine Thio	THIO	Moulinet	THIO_MOUL	Les Moulinets	THIO_MOUL_Z001	Sous-Zone 1	THIO_MOUL_Z001_SZ01	THIO_MOUL_Z001_SZ01_2008
Mine Tontouta	TONTT	Vulcain	TONTT_VULC	Suzanne Réduite	TONTT_VULC_SRED	Module 1. 1	TONTT_VULC_SRED_MD01_1	TONTT_VULC_SRED_MD01_1_2006

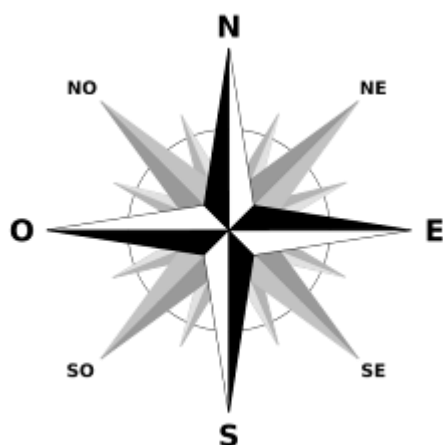
2

Les principales désignations sont présentées sur le schéma ci-dessous. A cela s'ajoute les décharges de stérile minier et des faciès d'érosion qui sont parfois revégétalisés (comme par exemple les ravines).



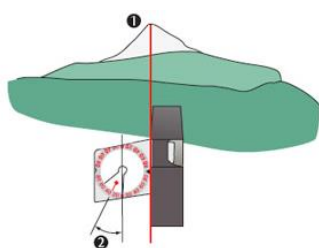
3

Elle est prise dos à la pente. La désignation se limite aux 8 orientations classiques.



4

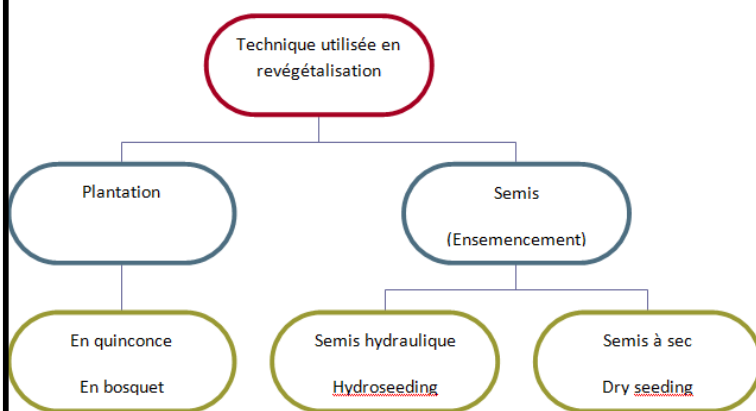
**Pente** : En degré, mesurée à l'aide d'un clinomètre



1 Orienter l'arête longitudinale supérieure de la boussole sur l'objet à viser.  
 2 L'angle d'inclinaison est directement lisible en degré sur l'échelle.

5

2 grandes techniques sont habituellement utilisées (plantation et ensemencement). Certains chantiers de revégétalisation peuvent utiliser plusieurs techniques sur une même modalité.



6

Différentes techniques peuvent être utilisées présentées succinctement par les photos ci-dessous



7

Différentes techniques de stockage du topsoil



Etalé

En tas



8

Type de paillage  
paille traditionnelle, tapis coco, bourre coco, copeaux de bois, mulch, hampes cypéracées, broyat végétaux, branchage grossier, son de graines, paillage plastique

9

Type de lutte-anti cerfs utilisé (ex: protection sur l'ensemble de la modalité, protection individuelle par plants)

10

Type d'apport réalisé pour la modalité  
Organique ou Chimique

Libellé : Description de l'apport réalisé sur la modalité

Ex : compost, broyat végétal, fumure, boue de STEP, mulch, cellulose, cendres, engrais poisson, engrais chimique diffusion lente, engrais chimique starter, conditionneur de sol ...

Quantité d'apport réalisé

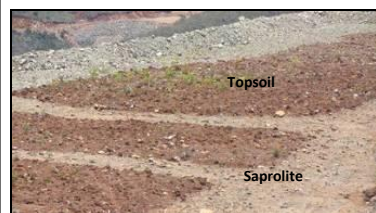
-Pour les plantations exprimé en g/plant ou L/plant

-Pour les semis exprimé en kg/ha ou L/ha

Méthode d'utilisation de l'apport sur le terrain  
en épandage, en trouaison ...

11

Différents types de sols



12

Les classes du critère « induration du sol » :

- Majoritairement indurée, la tarière n'atteint pas 20 cm de profondeur ;
- Majoritairement meuble, la tarière va au-delà de 20 cm de profondeur.

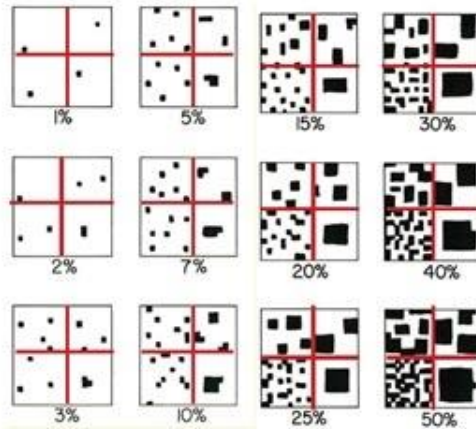


Meuble



Induré

13



Pourcentage de terre fine

% de cailloux	Description
< à 5%	Peu d'éléments grossiers
de 5 à 15 %	Faible charge caillouteuse
de 15 à 30 %	Charge caillouteuse moyenne
de 30 à 40 %	Charge caillouteuse élevée
> à 40%	Charge caillouteuse très élevée

Type de pierosité

Diamètre des particules	Dénomination
< à 2mm	Terre fine
de 2 mm à 2 cm	Graviers
de 2 cm à 7,5 cm	Cailloux
de 7,5 cm à 12 cm	Pierres
de 12 cm à 25 cm	Grosses pierres
> à 25 cm	Blocs



**14** **Nature de l'écosystème environnant** : définit le type d'écosystème le plus fréquent à proximité de la zone ou de la parcelle. Les différents écosystèmes sont présentés ci-dessous. En plus de ceux-ci, on peut ajouter des sols nus et les systèmes anthropisés, qui peuvent être fréquents à proximité de zones restaurées.

• **Forêts denses humides**

Se développent dans des zones recevant en moyenne entre 1 500 et 5 000 mm de pluie/an et sont classées en fonction de l'altitude en deux grandes catégories :

- les forêts denses humides de basse et de moyenne altitude (<800-1000m ; hauteur d'arbres généralement entre 15 et 25 m)
- les forêts denses humides d'altitude (>900-1000m ; hauteur d'arbres généralement entre 8 et 15 m).

Formations végétales les plus complexes et les plus diversifiées.

Familles les plus riches des forêts sur terrains miniers : Orchidaceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae *sensu lato*, Myrtaceae, Apocynaceae, avec plus de 50 espèces chacune.



• **Les maquis arbustifs**

Situés le plus souvent en dessous de 350 m d'altitude.

Possèdent une flore diversifiée et spécialisée, avec une strate herbacée réduite.

Espèces caractéristiques : différent selon les zones (voir ouvrage L'Huillier et al 2010, page 68).

Maquis pas directement touchés par l'extraction minière, mais le sont de manière indirecte (ouverture de routes, implantation d'infrastructures, feux).



• **Les maquis ligno-herbacés**

Sur sols ferrallitiques remaniés par érosion ou colluvionnement, sur pente plus ou moins forte.

Maquis les plus communs et ont, à la même altitude, une composition floristique relativement homogène sur l'ensemble des massifs.

Strate herbacée importante, formée de Cyperaceae des genres *Costularia*, *Schoenus*, et de *Lepidosperma perteres* (abondante après passage du feu). Prolifération de la fougère aigle (*Pteridium esculentum*) quand les feux sont répétés.

Strate arbustive constituée d'espèces héliophiles.



• **Maquis paraforestiers et préforestiers**

Maquis plus hauts et plus denses que ceux des catégories précédentes, dont ils sont souvent des faciès plus évolués, n'ayant pas subi l'action d'incendies récents.

Très diversifiés, souvent dominés par des peuplements de *Gymnostoma*, par des espèces des genres *Alstonia*, *Polyscias*, *Codia*, *Geissois*, *Pancheria*, *Myodocarpus*, *Garcinia*, *Hibbertia*...



## I. Information générale

Date du relevé : \_\_\_\_\_ | Mine : \_\_\_\_\_

Site : \_\_\_\_\_ | Zone : \_\_\_\_\_

Nom de la modalité : \_\_\_\_\_

## II. Etat des lieux

Numéro du quadrat : \_\_\_\_\_ Taille du quadrat (en m<sup>2</sup>) : \_\_\_\_\_

Coordonnées GPS = Lat : \_\_\_\_\_ N° photo(s) : \_\_\_\_\_  
 Long: \_\_\_\_\_

Génie écologique :  Fascine  Géofilet  Mur bois  Autre : \_\_\_\_\_  
 Etat :  Bon  Moyen  Mauvais

Erosion dominante :  en nappe  griffes  rigoles = rill  ravines

Tracé :  linéaire  sinueux

Erosion secondaire :  en nappe  griffes  rigoles = rill  ravines

Tracé :  linéaire  sinueux

### 1. Recouvrement dans le quadrat

Recouvrement total au sol :

0% [0]  0,1 à 1% [0,5]  1 à 5% [3]  5 à 25% [15]  25 à 50% [37,5]  50 à 75% [62,5]  75 à 100% [87,5]

Recouvrement au sol des herbacées autochtones :

0% [0]  0,1 à 1% [0,5]  1 à 5% [3]  5 à 25% [15]  25 à 50% [37,5]  50 à 75% [62,5]  75 à 100% [87,5]

Recouvrement au sol des ligneux :

0% [0]  0,1 à 1% [0,5]  1 à 5% [3]  5 à 25% [15]  25 à 50% [37,5]  50 à 75% [62,5]  75 à 100% [87,5]

Recouvrement au sol des espèces envahissantes :

0% [0]  0,1 à 1% [0,5]  1 à 5% [3]  5 à 25% [15]  25 à 50% [37,5]  50 à 75% [62,5]  75 à 100% [87,5]

Homogénéité du recouvrement :  Oui  Non

### 2. Santé du peuplement

Mortalité sur le quadrat (nbr de plant mort/ quadrat) : \_\_\_\_\_ Nombre d'individus utilisés dans le quadrat : \_\_\_\_\_

Etat général de l'écosystème :  3 : Bon  2 : Moyen  1 : Mauvais  0 : Très mauvais

Remarques : \_\_\_\_\_

Dégradation générale :  Feu  Evénement climatique  Intervention humaine  Autre : \_\_\_\_\_

Degré de dégradation :

0% [0]  0,1 à 1% [0,5]  1 à 5% [3]  5 à 25% [15]  25 à 50% [37,5]  50 à 75% [62,5]  75 à 100% [87,5]

Présence de champignons :  Oui  Non Remarques : \_\_\_\_\_

Type d'animaux non-nuisibles :  Oiseaux  Insectes  Lézards  Autres : \_\_\_\_\_

Remarques : \_\_\_\_\_

Type d'animaux nuisibles :  Fourmis  Cicadelles  Cochenilles  Autre : \_\_\_\_\_

Remarques : \_\_\_\_\_









# Fiche mémo associée à la fiche terrain pour le suivi

Projet RECOSYNTH

## I Information générale

**Date du relevé** : jours / mois / année

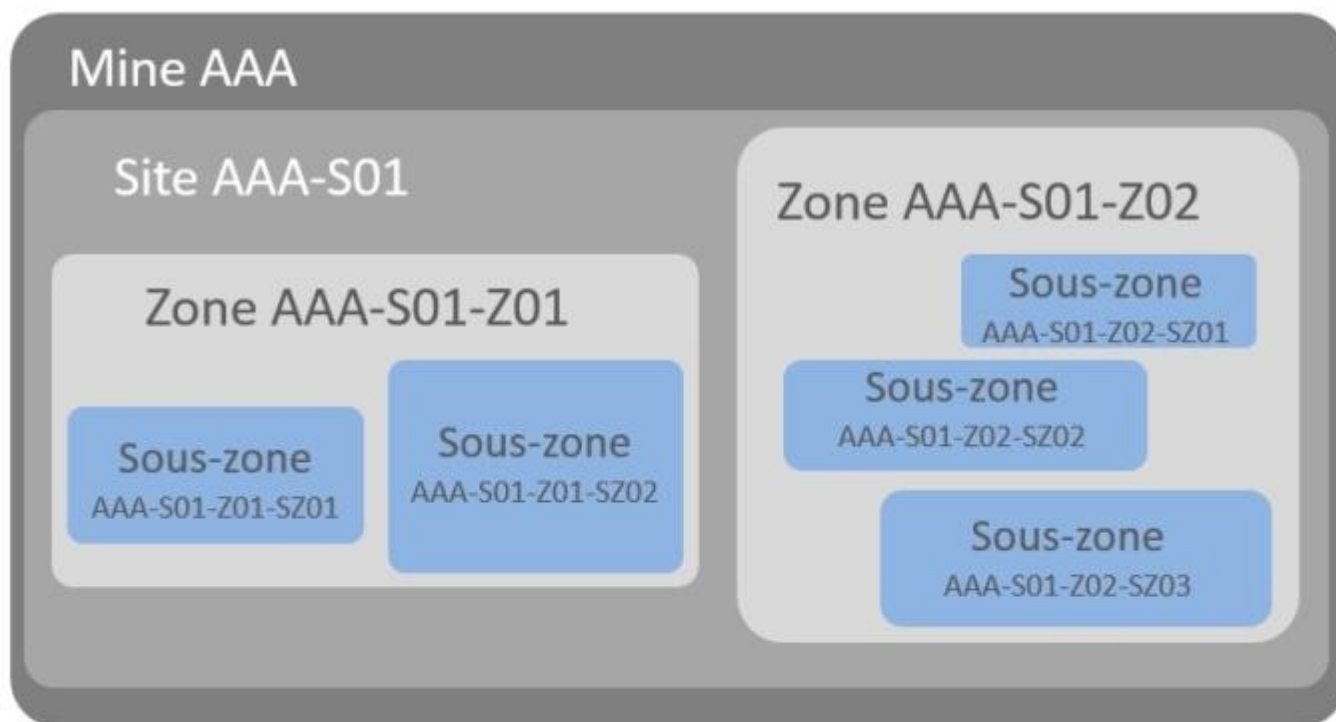
**Désignation mine** : nom de la mine.

**Désignation du site** : entité géographique pouvant désigner une partie de mine ou simplement une verse selon les cas (notamment en fonction des surfaces).

**Désignation de la zone** : entité géographique plus petite que les deux précédentes.

**Désignation de la modalité** : entité géographique sur laquelle a été menée l'action de revégétalisation (niveau d'imbrication le plus fin).

NB : Chacun de ces noms est par la suite codifié (comme présenté dans le schéma ci-dessous) avant d'être intégré dans la Base de données.



Cas 1

Il y a eu une seule modalité sur la sous-zone :

Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ01-1987

Cas 2

Il y a eu plusieurs modalités sur la sous-zone :

Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-1985

Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-1992

Modalité N°AAA-S01-Z01-SZ02-2001

*Mine, Site, Zone et Sous-zone sont des entités géographiques imbriquées.*

*Une Modalité est un traitement (ensemencement ou plantation) réalisé sur une Sous-zone à une date donnée. Il peut y avoir plusieurs modalités effectuées successivement sur une même Sous-zone (cas 2).*

## II Etat des lieux

**Numéro du quadrat** : Noter de 1 à 5.

**Taille du quadrat** : Noter la taille du quadrat réalisé en mètre carré.

**NB** : Il est préconisé ici de réaliser des quadrat de 100 m<sup>2</sup> pour les chantiers de plantation et de 20 m<sup>2</sup> pour les chantiers d'ensemencement.

**Coordonnées GPS** : Coordonnées relevées au centre du quadrat

**N° photo**: Noter le(s) numéro(s) des photos prises du quadrat (préférentiellement prendre des photos aux quatre coins).

**Génie écologique** : Différentes techniques peuvent être utilisées présentées succinctement par les photos ci-dessous



Fascinés



Géofilet



Mur Bois

**Etat** : 3 propositions

**Bon** -> l'ouvrage est intact et fonctionnel

*Fascine* : les pieux et les rameaux sont intacts

*Géofilet* : le géofilet n'a pas encore subi de dégradation

*Mur bois* : les pieux et bois utilisés sont intacts

**Moyen** -> l'ouvrage a été endommagé par le temps et/ou l'ouvrage est partiellement fonctionnel

*Fascine* : les pieux et les rameaux commencent à pourrir par endroit

*Géofilet* : sur certaines zone le géofilet est dégradé et absent

*Mur bois* : les pieux et bois utilisés commencent à pourrir par endroit

**Mauvais** -> ouvrage très dégradé et/ou non fonctionnel

*Fascine* : les pieux et les rameaux sont arrachés, détruits, absents...

*Géofilet* : le géofilet est presque complètement ou complètement dégradé et absent

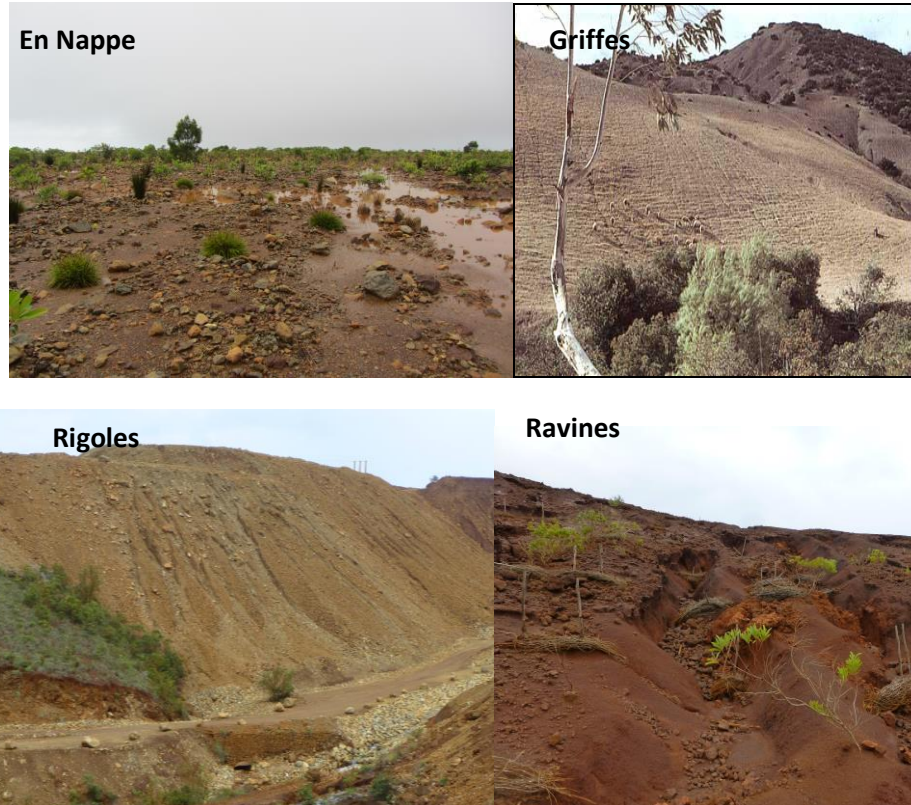
*Mur bois* : les pieux et bois utilisés sont pourris, dégradés, absents ...



## Erosion

Si il y a plusieurs faciès d'érosion présents sur la modalité, estimer et noter le type et la tracé de l'érosion dominante et secondaire.

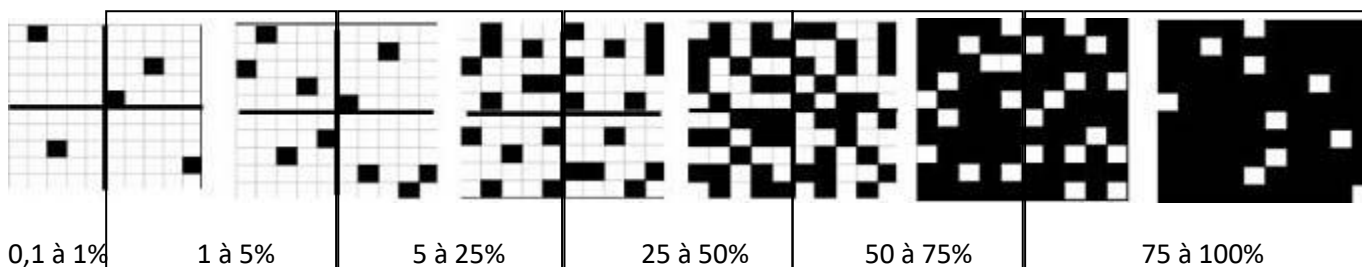
*NB : érosion en nappe -> érosion diffuse, décollement des particules par effet splash*



Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	< 1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10- 30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50cm à 1 m	30-50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200 cm

## 1. Recouvrement dans le quadrat

### Indice de Braün-Blanquet



Le recouvrement total au sol est évalué sur l'ensemble du quadrat. Le recouvrement en herbacées, en ligneux et en espèces envahissantes est aussi exprimé sur la totalité du quadrat.

**NB :** Pour le calcul de la valeur de recouvrement à saisir dans « IndicRest », il faut réaliser la moyenne des valeurs numériques indiquées entre crochets pour chaque quadrat, présentes sur la fiche de terrain pour le suivi. (ex : quadrat 1 : [3], quadrat 2 : [15], quadrat 3 : [37,5], quadrat 4 : [15], quadrat 5 : [3] ; valeur à saisir :  $(3+15+37,5+15+3) / 5 = 14,7$ )

**Homogénéité du recouvrement :** estimer si, dans le quadrat, le recouvrement observé est uniforme ou non.

## 2. Santé du peuplement

**Mortalité :** noter le nombre d'individus morts sur le quadrat uniquement dans le cadre de plantation.

**NB :** Pour le calcul de la valeur de mortalité à saisir dans « IndicRest », il faut calculer pour chaque quadrat le pourcentage du nombre d'individus morts sur le nombre total d'individus utilisés dans le quadrat. Ensuite la moyenne des pourcentages des 5 quadrat est calculée. (ex : quadrat 1 : 2 morts/ 15 individus utilisés, quadrat 2 : 3 morts/ 16 individus utilisés, quadrat 3 : 5 morts/ 17 individus utilisés, quadrat 4 : 3 morts/ 15 individus utilisés, quadrat 5 : 2 morts/ 16 individus utilisés ; valeur à saisir :  $((2/15+3/16+5/17+3/15+2/16) / 5) * 100 = 18$ )

**Etat général de l'écosystème :** 4 propositions.

**Bon** = croissance des plants (des plants bien ramifiés, touffes de Cypéracées bien développées et ayant tallé), un feuillage fourni et en bonne condition (vert intense, pas de signe de jaunissement ou de nécrose).

**Moyen** = croissance plus faible (des plants moins ramifiés)

**Mauvais** = état stagnant du peuplement végétal. Croissance lente, présence de marques de mauvais état des plants, comme un jaunissement ou des nécroses foliaires.

**Très mauvais** = le peuplement présente un fort taux de mortalité et une croissance ralentie.

**NB :** Pour le calcul de la valeur de l'Etat général à saisir dans « IndicRest », il faut réaliser la moyenne des valeurs numériques indiquées devant la proposition choisie pour chaque quadrat, présentes sur la fiche de terrain pour le suivi. (ex : quadrat 1 : 3 pour Bon, quadrat 2 : 2 pour Moyen, quadrat 3 : 2 pour Moyen, quadrat 4 : 3 pour Bon, quadrat 5 : 1 pour Mauvais ; valeur à saisir :  $(3+2+2+3+1) / 5 = 2,2$ )

---

**Dégradation générale :** Noter si des événements d'origines climatiques ou anthropiques (feu, cyclone, glissement de terrain...) ont pu avoir un impact sur la zone.

**Degré de dégradation :** Estimer le degré d'impact par rapport à l'ensemble de la zone selon le même que celui utilisé pour le recouvrement

**Présence de champignons :** Noter la présence éventuelle de carpophores sur la modalité (il peut être utile de prendre des photos pour une détermination ultérieure).

**Type d'animaux non-nuisibles :** Noter la présence éventuelle d'oiseaux, insectes, lézards ou autres pouvant être passés sur la zone lors du relevé.

**Type d'animaux nuisibles :** noter la présence de fourmis envahissantes (type *Wasmannia auropunctata* ; fourmis électrique) ou la présence d'insectes parasites sur les plantes (comme les cochenilles accrochées sur le dessous des feuilles - une forte présence de ces insectes peut-être couplée à la venue d'un champignon saprophytes à tendance parasite, la fumagine qui recouvre d'une « poussière noire » les feuilles et les rameaux - ou encore les cicadelles - dont la présence de larve est notamment visible par le développement de mousse sur la tige ressemblant à de la salive ou à un crachat, appelé encore crachat de coucou).

---

### **Différencier espèces utilisées et espèces apparues :**

Pour les plantations, les espèces utilisées correspondent aux espèces plantées. Il est possible de les distinguer car généralement les individus plantés sont alignés, ou alors il est possible de se référer à un plan d'implantation si existant. Les espèces apparues correspondent à celles qui n'ont pas été implantées lors de la mise en place de la revégétalisation. Elles pourront correspondre à des individus d'espèces différentes ou identiques de celles déjà plantées.

Pour les ensemencements, les espèces utilisées correspondent à celles contenues dans le mélange semé. Les espèces apparues correspondent à celles qui n'appartenaient pas au mélange initial, auxquelles s'ajoutent les individus d'espèces listées dans le mélange mais dont la taille laisse à penser qu'ils ne sont pas issus des graines semées. Ainsi, il revient donc à l'expérimentateur d'évaluer si l'individu est issu du mélange de base ou d'un apport ultérieur (très grande différence de taille des plants).

### **3. Relevé sur les espèces végétales utilisées**

**Espèces utilisées :** Remplir la liste des espèces végétales utilisées lors de la mise en place de la zone de revégétalisation

**Nombre d'individus de chaque espèce dans le quadrat :** relever le nombre d'individus présents dans le quadrat pour chaque espèce.

**NB :** Pour le calcul de la valeur du nombre d'individus utilisés pour 20m<sup>2</sup> à saisir dans « IndicRest », il faut calculer la somme du nombre d'individus utilisés vivants par quadrat, puis réaliser la moyenne des 5 quadrats. Il ensuite est nécessaire de ramener ce nombre d'individus à 20 m<sup>2</sup>. (ex : quadrat 1 (100m<sup>2</sup>) : 5, quadrat 2 (100m<sup>2</sup>) : 20, quadrat 3 (100m<sup>2</sup>) : 18, quadrat 4 (100m<sup>2</sup>) : 29, quadrat 5 (100m<sup>2</sup>) : 26 ; valeur à saisir :  $((5+20+18+29+26)/5)*20/100 = 3,92$ ).

**Hauteur** : mesurer la distance collet - bourgeon terminal et, pour les Cypéracées, de la base à l'extrémité de la plus grande feuille (on ne tient pas compte des hampes florales).

**Diamètre au collet** : Au niveau de la base pour les espèces ligneuses, ou le diamètre de la touffe pour les Cypéracées (extrémités des feuilles, et l'on ne tient pas compte des hampes florales).

**Il est nécessaire de mesurer 5 individus les plus représentatifs de la population présente dans le quadrat. NB : Pour le calcul de la valeur de la moyenne de la hauteur ou de diamètre à saisir dans « IndicRest », il faut distinguer les espèces ligneuses et herbacées. Considérons le cas des espèces ligneuses : On calcule la moyenne de l'ensemble des individus mesurés pour une espèce donnée, puis on réalise la moyenne de l'ensemble des espèces ligneuses pour un quadrat. Enfin la moyenne des 5 quadrats est réalisée.**

**(ex pour calcul de la valeur moyenne de hauteurs des espèces utilisés ligneuses vivantes)**

Quadrat 1	Individus 1	Individus 2	Individus 3	Individus 4	Individus 5	Moyenne par quadrat
<i>Scaevola cylindrica</i>	8					8
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	20	6	7	5	10	9,6
<i>Dodonaea viscosa</i>	4	15	20			13
<b>Moyenne espèces ligneuses</b>						<b>10,2</b>
Quadrat 2	Individus 1	Individus 2	Individus 3	Individus 4	Individus 5	Moyenne par quadrat
<i>Scaevola cylindrica</i>	18	15	4	8	25	14
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	12	15	17	3	20	13,4
<i>Dodonaea viscosa</i>	25	18	13			18,67
<b>Moyenne espèces ligneuses</b>						<b>15,356</b>
Quadrat 3	Individus 1	Individus 2	Individus 3	Individus 4	Individus 5	Moyenne par quadrat
<i>Scaevola cylindrica</i>	20	12				16
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	15	11				13
<i>Dodonaea viscosa</i>	25					25
<b>Moyenne espèces ligneuses</b>						<b>18</b>
Quadrat 4	Individus 1	Individus 2	Individus 3	Individus 4	Individus 5	Moyenne par quadrat
<i>Scaevola cylindrica</i>	45					45
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	85	62	45	75	52	63,8
<i>Dodonaea viscosa</i>	25					25
<b>Moyenne espèces ligneuses</b>						<b>44,6</b>
Quadrat 5	Individus 1	Individus 2	Individus 3	Individus 4	Individus 5	Moyenne par quadrat
<i>Scaevola cylindrica</i>	3	8	10			7
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	25	12	18	29	42	25,2
<i>Dodonaea viscosa</i>	5	14	21			13,33333333
<b>Moyenne espèces ligneuses</b>						<b>15,178</b>

N° quadrat	Moyenne espèces ligneuses	Valeur moyenne de la hauteur des espèces ligneuses utilisées
1	10,2	
2	15,356	
3	18	<b>20,67</b>
4	44,6	
5	15,178	

**Floraison (FL) et/ ou Fructification (FR) :** noter la présence de bourgeons ou de hampes florales, à renseigner par un « FL ». Noter de la même manière la présence de fruits en notant « FR » dans le tableau.

**Recrûs<sup>1</sup> :** deux types de recrûs sont relevés au pied des différents individus d'espèces utilisées mesurées (dans un rayon d'1 m autour du pied). Les recrûs d'espèces identiques sont notés sous forme d'un indice « id ». Les recrûs appartenant à une espèce différente sont notés sous forme d'indice « diff » et également dénombrés (mis entre parenthèse à côté de l'indice diff).

**NB :** Pour le calcul de la valeur du nombre de recrûs identiques à saisir dans « IndicRest », il faut effectuer une transformation. En effet ce critère est pris sur le terrain sous forme d'indice et doit être transformé en numérique (l'individu présentant un indice « id » prenant la valeur « 1 » et l'individu ne présentant pas cet indice prenant la valeur « 0 »). On réalise alors la somme des valeurs « id » par quadrat. Enfin la moyenne des 5 quadrats est calculée. (ex : quadrat 1 : 3 id, quadrat 2 : 10 id, quadrat 3 : 25 id, quadrat 4 : 2 id, quadrat 5 : 14 id; valeur à saisir :  $(3+10+25+2+14) / 5 = 10,8$ )

**NB :** Pour le calcul de la valeur du nombre de recrûs différents à saisir dans « IndicRest », il faut effectuer la somme du nombre de recrûs d'espèces différentes par quadrat. Enfin la moyenne des 5 quadrats est calculée. (ex : quadrat 1 : 30 diff, quadrat 2 : 14 diff, quadrat 3 : 250 diff, quadrat 4 : 20 diff, quadrat 5 : 140 diff; valeur à saisir :  $(30+14+250+20+140) / 5 = 90,8$ )

**Épaisseur moyenne de la litière par espèce :** mesurer (en cm) au pied de chaque individu mesuré.

**Types de dégâts et espèces impactées :** plusieurs dégâts peuvent être observés sur les espèces végétales, tel que l'abroustissement (dû aux cerfs principalement), le piétinement, la fouille (dû aux cochons principalement) le frottement. Ils sont relevés ici sur les espèces utilisées.

**Types de dégradations foliaires et liste des espèces impactées :** Plusieurs types de dégradations peuvent être observés, des chloroses, des nécroses, des déformations, des piqures, des morsures, ou une défoliation. Ils sont relevés ici aussi sur les espèces utilisées.



#### 4. Relevé sur les espèces végétales apparues

**Espèces apparues :** Remplir la liste des espèces végétales apparues.

**Nombre d'individus de chaque espèce dans le quadrat :** relever le nombre d'individus présents dans le quadrat pour chaque espèce.

<sup>1</sup> 1.(arboriculture) ensemble des nouvelles pousses apparaissant sur la zone.



**NB :** Pour le calcul de la valeur du nombre d'individus apparus pour 20m<sup>2</sup> à saisir dans « IndicRest », il faut calculer la somme du nombre d'individus apparus par quadrat, puis réaliser la moyenne des 5 quadrats. Il ensuite est nécessaire de ramener ce nombre d'individus à 20 m<sup>2</sup>. (ex : quadrat 1 (100m<sup>2</sup>) : 5, quadrat 2 (100m<sup>2</sup>) : 20, quadrat 3 (100m<sup>2</sup>) : 18, quadrat 4 (100m<sup>2</sup>) : 29, quadrat 5 (100m<sup>2</sup>) : 26 ; valeur à saisir :  $((5+20+18+29+26) / 5) * 20 / 100 = 3,92$ ).

**Hauteur :** estimer la distance moyenne collet - bourgeon terminal et, pour les Cypéracées, de la base à l'extrémité de la plus grande feuille (on ne tient pas compte des hampes florales).

**Diamètre au collet :** estimer la moyenne du diamètre à la base pour les espèces ligneuses, ou la moyenne du diamètre de la touffe pour les Cypéracées (extrémités des feuilles, et l'on ne tient pas compte des hampes florales).

**NB :** Pour le calcul de la valeur de la moyenne de la hauteur ou de diamètre à saisir dans « IndicRest », il faut distinguer les espèces ligneuses et herbacées. Considérons le cas des espèces ligneuses : On calcule la moyenne de hauteur ou de diamètre de l'ensemble des espèces ligneuses pour un quadrat. Enfin la moyenne des 5 quadrats est réalisée. (ex : quadrat 1 : 50, quadrat 2 : 20, quadrat 3 : 45, quadrat 4 : 20, quadrat 5 : 26 ; valeur à saisir :  $((50+20+45+20+26) / 5) * 20 / 100 = 32,2$ ).

**Floraison (FL) et/ ou Fructification (FR) :** noter la présence de bourgeons ou de hampes florales, à renseigner par un « FL ». Noter de la même manière la présence de fruits « FR ».

**Types de dégâts et espèces impactées :** plusieurs dégâts peuvent être observés sur les espèces végétales, tel que l'abroustissement (dû aux cerfs principalement), le piétinement, la fouille (dû aux cochons principalement), le frottement.

**Types de dégradations foliaires et liste des espèces impactées :** Plusieurs types de dégradations peuvent être observés, des chloroses, des nécroses, des déformations, des piqures, des morsures, ou une défoliation.

**Cas particulier pour le calcul de la valeur des dégâts ou dégâts foliaires à saisir dans « IndicRest »**

**NB :** Pour le calcul de la valeur des dégâts à saisir dans « IndicRest », il faut effectuer la somme du nombre d'espèces impactées par quadrat (tout type de dégâts confondus) sur les espèces utilisées et apparues). Enfin la moyenne des 5 quadrats est calculée. (ex : quadrat 1 : espèces utilisées 5 Ab + 2 Pi ; espèces apparues 2 Ab, quadrat 2 : espèces utilisées 3 Ab + 1 Fo ; espèces apparues 2 Fo, quadrat 3 : espèces utilisées 1 Fo ; espèces apparues 1 Fr, quadrat 4 : espèces utilisées 2 Fr + 1 Ab ; espèces apparues 0, quadrat 5 : espèces utilisées 0 ; espèces apparues 1 Ab 1 Fo ; valeur à saisir :  $[(5+2) + 2] + [(3+1) + 2] + [1 + 1] + [(2 + 1) + 0] + [0 + (1 + 1)] / 5 = 4,4$

**NB :** Pour le calcul de la valeur de dégâts foliaires à saisir dans « IndicRest », il faut effectuer la somme du nombre d'espèces impactées par quadrat (tout type de dégâts foliaires confondus). Enfin la moyenne des 5 quadrats est calculée. (ex : quadrat 1 : espèces utilisées 5 Ch + 2 N ; espèces apparues 2 Dé, quadrat 2 : espèces utilisées 3 Ch + 1 D ; espèces apparues 4 Dé, quadrat 3 : espèces utilisées 1 P ; espèces apparues 2 M + 1 D, quadrat 4 : espèces utilisées 2 M + 1 Dé ; espèces apparues 1 M, quadrat 5 : espèces utilisées 0 ; espèces apparues 0 ; valeur à saisir :  $[(5 + 2) + 2] + [(3 + 1) + 4] + [1 + (2 + 1)] + [(2 + 1) + 1] + [0 + 0] / 5 = 5$





