

**Titre : Identification d'indicateurs biologiques du
fonctionnement des écosystèmes miniers restaurés**

Acronyme : Bioindic

I. RENSEIGNEMENTS GENERAUX

Titre de l'appel à projet	Identification d'indicateurs biologiques du fonctionnement des écosystèmes miniers restaurés.
Thématique scientifique choisie Rayer celles non retenues	1- Nickel et Société 2- Nickel et Technologie 3- Nickel et Environnement naturel
Interdisciplinarité La plupart des appels à projets correspondent à un questionnement pluridisciplinaire, parfois à cheval entre les sciences technologiques et/ou naturelles et/ou humaines. Les équipes qui soumettront veilleront donc à intégrer cette pluridisciplinarité Barrer les disciplines non concernées par le projet	A- Sciences du vivant B- Sciences de la terre C- Physique – Chimie (du sol) – Mathématiques et STIC (analyses bioinformatiques) D- Sciences humaines et sociales
Regroupement Rayer celui qui est non retenu	- Association avec des partenaires extérieurs - Non association avec des partenaires extérieurs
<i>Les partenaires peuvent appartenir au secteur public, au secteur privé (laboratoires, bureau d'étude) et au secteur associatif. Vous pouvez rajouter autant de partenaires, équipes, réseaux ou chercheurs, enseignant-chercheurs, ingénieurs de recherche que vous souhaitez.</i>	

Nom du Responsable du projet	Fabian CARRICONDE
Organisme d'appartenance (CNRS, INSERM, Université etc.)	Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC)
Fonction	Chercheur, écologie moléculaire et mycologie
Intitulé de l'Unité de recherche	Axe 2 « Diversités biologique et fonctionnelle des écosystèmes terrestres »
Adresse	Centre IRD de Nouméa – BP 18239 – 98857 Nouméa Sud – Nouvelle-Calédonie
Téléphone(s)	+687 26 07 59
Courriel	carriconde@iac.nc
Nom des personnes de l'équipe (accompagné de : - leur spécialité, - leur organisme d'appartenance et - leur domaine de recherche	1) CARRICONDE Fabian Ecologie moléculaire, mycologie IAC, Axe 2
	2) FOGLIANI Bruno Ecologie des semences IAC, Axe 2
	3) LETELLIER Kelly Biologie moléculaire IAC, Axe 2
	4) L'HUILLIER Laurent Ecologie végétale IAC
	5) MAGGIA Laurent Ecologie, Génétique des populations CIRAD – IAC, Axe 2

	6) VEA Casimir Ecologie des semences IAC, Axe 2
	7) DUCOUSSO Marc Microbiologie, mycologie LSTM-CIRAD
	8) HANNIBAL Laure Microbiologie, biologie moléculaire LSTM – IRD
	9) JOURAND Philippe Ecologie, biochimie et biologie moléculaire LSTM – IRD
	10) LEBRUN Michel Biologie moléculaire et biochimie LSTM – Univ. Montpellier
	11) NAVARRO ELISABETH Génomique environnementale LSTM – IRD
	12) AMIR Hamid Ecologie microbienne UNC – LIVE
	13) CAVALOC Yvon Biologie moléculaire UNC – LIVE
	14) Valérie MEDEVIELLE Biologie végétale UNC-LIVE

Nom du Gestionnaire du crédit	Laurent L'HUILLIER
Courriel	luhullier@iac.nc
Intitulé de l'unité/établissement gestionnaire du crédit Si différente de celle du porteur du projet	
Adresse	BP73 – Païta – Nouvelle-Calédonie
Téléphone	+687 43 74 27
Courriel	

II. RESUME DU PROJET

- **Contexte et positionnement du projet**

Les espèces s'éteignent aujourd'hui à un rythme supérieur à celui du bruit de fond de l'extinction naturelle (MEA, 2004) et de nombreux milieux subissent les pressions exercées par les activités anthropiques (Ellis & Ramankutty, 2008). Face à ces constats, une prise de conscience internationale a émergé sur la nécessité de préserver la diversité du monde du vivant et de restaurer les écosystèmes dégradés (Couvet & Teyssèdre-Couvet, 2010).

Dans ce contexte global, qu'en est-il de la Nouvelle-Calédonie ? La mise en place au cours des temps géologiques de sols issus de l'altération des roches ultramafiques, qui se caractérisent notamment par de faibles teneurs en éléments nutritifs ainsi que par de fortes concentrations en métaux lourds, est en partie à l'origine d'une richesse biologique riche et exceptionnelle. Les teneurs extrêmement élevées en nickel de ces sols ont également pour conséquence une exploitation minière intensive qui risque de s'intensifier dans les prochaines années (L'Huillier & Jaffré, 2010). L'exploitation minière, couplée à d'autres menaces, est responsable d'une forte dégradation des milieux terrestres. La Nouvelle-Calédonie n'échappe donc pas à la règle.

Depuis les années 1970, des actions de revégétalisation visant à remettre en place un couvert végétal ont été développées. Au cours de ces dernières décennies, les pratiques de revégétalisation ont largement évolué. Ces changements résultent en partie d'une meilleure connaissance de la biologie des espèces végétales, ainsi que de la volonté de développer des actions de restauration écologique, *i.e.* d'essayer de rétablir au plus proche la diversité, la structure et les fonctions des écosystèmes d'origines. La dynamique et le rétablissement de fonctions vont tout particulièrement dépendre du paysage dans lequel se situe la zone restaurée, ainsi que de la connectivité fonctionnelle (*i.e.* la dispersion efficace) entre les différents éléments du paysage. Afin de déterminer le statut d'un écosystème restauré et sa dynamique, un nombre croissant de travaux utilisent, les végétaux et les microorganismes du sol comme indicateurs biologiques (Banning *et al.*, 2011 ; Harris, 2003 ; Jaunâtre *et al.*, 2013).

- **Description scientifique et technique du projet**

- **Etat de l'art**

La restauration écologique a pour but de rétablir la structure, la diversité et la dynamique d'écosystèmes dégradés, au regard d'écosystèmes considérés comme « originels » (SER, 2004). L'optimisation de pratiques de restauration nécessite de mieux appréhender le fonctionnement des écosystèmes.

Les microorganismes du sol jouent des rôles essentiels dans divers processus, tels que la régulation des cycles des éléments, la stabilisation des sols et la nutrition hydrominérale des plantes (Smith & Read, 1997). Néanmoins, malgré ces rôles majeurs on ne connaît que très peu leurs diversités taxonomique, phylogénétique et fonctionnelle. Le développement récent de techniques de séquençage en masse a permis de faire un bond en avant. En effet, une diversité jusque-là insoupçonnée a été révélée (*e.g.* Buée *et al.*, 2009) et de nombreuses fonctions restent à découvrir (*e.g.* Fierer *et al.*, 2012). En fonction des milieux rencontrés et de la dynamique de ces milieux, les communautés et populations microbiennes vont varier (*e.g.* Fierer *et al.*, 2012 ; Gryta *et al.*, 2006).

Ces modifications environnementales, et la capacité des microorganismes à répondre à ces changements, font d'eux des indicateurs biologiques d'intérêts majeurs pour définir l'état des écosystèmes (Harris, 2009). En Nouvelle-Calédonie, des travaux se sont intéressés et s'intéressent aux champignons mycorhiziens, *i.e.* formant une association à bénéfices réciproques avec les racines de plantes. Certains travaux se sont notamment intéressés et s'intéressent à la caractérisation de la diversité taxonomique et sa structure (Perrier *et al.*, 2006 ; Amir et Ducousso, 2010 ; Carriconde et al, 2013). Toutefois, aucune des études menées n'a, à ce jour, réalisé une approche comparative sites restaurés *versus* écosystèmes « naturels ».

La reproduction, la dispersion et la germination sont des processus largement impliqués dans la dynamique des populations et des communautés végétales. En effet, ils participent au cycle de vie des plantes, en permettant aux individus nouvellement créés de s'installer dans de nouveaux milieux. La caractérisation de traits d'histoire de vie, tels que les modes de dispersion (*e.g.* anémochorie et zoochorie) et la dormance des graines, permet de mieux appréhender les capacités de disséminations des espèces végétales. Ces capacités de dispersion, et par conséquent les échanges entre individus, ont également été largement étudiées par des approches de génétique des populations. L'étude de la variabilité intra-spécifique permet de définir, de façon indirecte, les distances de dispersion, mais également les liens de parentés entre les individus et l'impact de la fragmentation sur les flux de gènes (Ortego *et al.*, 2010). En Nouvelle-Calédonie, des travaux ont été conduits tout particulièrement sur la germination et la dormance des graines dans un but de transfert technique pour la production de plants pour des actions de restauration (*e.g.* Wulff *et al.*, 2012), mais aucune étude n'a réellement portée sur la dynamique des écosystèmes en lien avec l'évolution de sites restaurés. En ce qui concerne les approches de génétiques, les travaux ont par exemple portés sur les rôles de facteurs dans la structuration des populations (projet CNRT « Biotop ») ou l'établissement de priorités de conservation (*e.g.* Wulff *et al.*, 2012 ; Maggia & Ollivier, 2011).

○ **Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet**

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous nous proposons de comparer des écosystèmes restaurés à des écosystèmes « naturels » adjacents sur substrats ultramafiques. Cette comparaison sera réalisée au travers de divers grands modèles biologiques : les microorganismes du sol (bactéries et champignons) et les plantes, via des approches d'écologie des communautés, de génétique des populations et de l'expression de gènes fonctionnels. Il nous sera ainsi possible de développer des indicateurs biologiques de l'état d'un système restauré et de son évolution en terme de trajectoires de « récupération ». Ce travail se replacera également dans un contexte d'écologie du paysage. La dynamique d'un système va, en effet, en partie dépendre du paysage dans lequel il se situe, notamment aux niveaux des aspects de connectivités et de capacités de dispersion (connectivité fonctionnelle).

Les objectifs principaux de cette étude sont donc **(i)** de caractériser les diversités génétique, taxonomique et fonctionnelle des bactéries, champignons et plantes de zones restaurées et d'écosystèmes « naturels » dans un paysage donné, **(ii)** de déterminer les processus écologiques à l'origine de la structure observée (*e.g.* connectivité fonctionnelle) et **(iii)** de mettre en place des indicateurs biologiques du statut des écosystèmes restaurés.

- **Programmation scientifique et technique**

- **Programme scientifique et structuration du projet**

Comme indiqué précédemment, le projet de recherche CNRT « Bioindic » combinera des approches allant de l'écologie des communautés à l'expression de gènes de fonctions, en passant par la génétique des populations chez divers modèles d'organismes. Les travaux porteront plus précisément sur :

- L'écologie des communautés des microorganismes du sol (bactéries et champignons) et des plantes ;
- L'écologie des semences ;
- La génétique des populations de plantes modèles ;
- Et finalement, l'expression de gènes chez les champignons ectomycorhiziens impliqués dans le fonctionnement des écosystèmes.

Il est important de noter que le projet proposé dans cet appel d'offre vient dans la continuité et en complément d'autres travaux en cours de réalisation. En effet, il s'inscrit dans un contexte global de recherche largement développé par l'Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC), l'Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC) et l'UMR LSTM avec l'ensemble des opérateurs miniers présents sur le territoire (KNS, SLN, ValeNC et Xstrata).

- **Coordination du projet**

- Le projet sera coordonné par Fabian Carriconde, chercheur à l'IAC en écologie moléculaire et mycologie.
- Ce projet est structuré autour de trois tâches interconnectées et complémentaires décrites par la suite. Pour chacune des sous-tâches, en fonction de leurs compétences dans le domaine traité, des responsables ont été définis.
- Des réunions de coordination seront organisées. Une réunion de démarrage aura lieu en début de projet afin de définir les sites d'études et les méthodologies d'échantillonnage à appliquer. Des réunions tous les 6 mois seront également organisées pour faire le point sur l'avancée des travaux en fonction du calendrier établi.
- Des rapports annuels sur l'avancement des travaux de recherche la première et deuxième année seront rendus, ainsi qu'un rapport final au bout des 3 ans.
- Il est envisagé d'organiser après le rendu du rapport final, un workshop sur les résultats obtenus en les replaçant dans un cadre plus général prenant en compte les travaux réalisés dans d'autres projets de recherche. Ce workshop pourra, par conséquent, porter sur la diversité, le fonctionnement et la restauration des écosystèmes miniers de Nouvelle-Calédonie.

- **Description des travaux par partie et par tâche**

Afin de répondre aux objectifs globaux, trois tâches distinctes et complémentaires ont été définies. Les tâches (hors tâche 1) ont été organisées en fonction des modèles d'études et des compétences selon les structures de recherche impliquées, tout en conservant une forte synergie entre les participants.

- Tâche 1 : « Appui aux tâches 2 et 3 ». Cette tâche vient en appui aux deux autres tâches : acquisition des données disponibles sur les sites d'étude, prospections terrain et

échantillonnage, complément d'inventaire floristique et analyses physico-chimiques du sol (responsable : Amir H.).

- Tâche 2 : « Microflore du sol : diversité et fonctionnalité ».
 - Sous-tâche 2.1 : caractérisation et structure de la diversité globale en bactéries et champignons.
 - Sous-tâche 2.2 : fonctionnalité des champignons endomycorhiziens, expérimentations en serres.
 - Sous-tâche 2.3 : expression de gènes fonctionnels chez les champignons ectomycorhiziens.
- Tâche 3 : « Communautés et populations végétales : des semences à la génétique des populations ».
 - Sous-tâche 3.1 : composition floristique et écologie des semences : dispersion et dynamique des communautés.
 - Sous-tâche 3.2 : génétique des populations d'espèces modèles : dispersion, cohortes et liens de parentés.

• Calendrier des tâches et des livrables

Le projet de recherche proposé sera réalisé sur trois années. Un calendrier synthétique regroupant l'ensemble des tâches est présenté ci-dessous.

	Année 1				Année 2				Année 3			
Trimestres	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Bibliographie, choix sites et modèles échantillonnage												
Acquisition de données terrain et laboratoire												
Analyses des données et interprétation												
Rédaction rapports												

• Stratégie et valorisation des résultats et mode de protection et d'exploitation des résultats

Les résultats seront valorisés, aux niveaux scientifiques et techniques, *via* :

- Des communications à des congrès nationaux et internationaux ;
- La soumission pour publication dans des revues scientifiques internationales à comités de lecture ;
- La formation d'étudiants et de personnel impliqué ;
- L'établissement de recommandations pratiques pour les acteurs de la restauration en Nouvelle-Calédonie (collectivités et miniers). En effet, des indicateurs biologiques (floristiques et microbiens) sur la dynamique des écosystèmes, par conséquent sur l'état et les trajectoires de « récupération » des écosystèmes restaurés, seront proposés aux gestionnaires ;
- La réalisation d'un workshop sur la diversité, le fonctionnement et la restauration des écosystèmes miniers de Nouvelle-Calédonie.

- **Organisation du projet**

- **Qualification du porteur du projet**

Fabian CARRICONDE est chercheur à l'IAC, au sein de l'Axe 2 « Diversités biologique et fonctionnelle des écosystèmes terrestres ». Ses travaux de recherche portent sur les interactions plantes-microorganismes avec pour finalité la conservation et la restauration des écosystèmes sur substrats ultramafiques *via* la mise en place d'indicateurs biologiques. Il est actuellement responsable scientifique de deux projets. Le premier porte sur les champignons ectomycorhiziens de différentes formations forestières des terrains miniers, le second sur les interactions plantes-microorganismes sur une large échelle spatiale. D'un point de vue collaborations, il travaille avec des miniers (Vale NC et SLN) et différents partenaires scientifiques (Monash University (Australie), UMR EDB (CNRS-Université Toulouse III), UMR AGAP, UMR LSTM et Université de Lille 2). Il co-encadre deux thèses, dont l'une bénéficie du Prix d'Encouragement à la Recherche du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie.

- **Description, adéquation et complémentarité des participants**

Les personnes impliquées dans ce projet présentent des compétences dans des disciplines convexes nécessaires à la caractérisation des différents niveaux de diversités (communautés, populations et expressions de gènes) pour les modèles étudiés. Pour exemple, les champs de compétences portent sur l'écologie moléculaire, la microbiologie environnementale, l'écologie des semences et la génétique des populations de plantes.

Par ailleurs, une grande partie des participants a déjà travaillé en collaboration dans plusieurs études (*e.g.* ANR Ultrabio, CNRT Biotop). Ce projet se situe donc dans la continuité d'interactions scientifiques déjà mises en place depuis plusieurs années.

- **Les dimensions interdisciplinaires, interinstitutionnelles (si partenariat), et/ou internationales**

Comme indiqué précédemment, l'« équipe » est composée de membres travaillant dans diverses disciplines (*e.g.* écologie moléculaire, écologie des semences et génétiques des populations de plantes). Ce large spectre disciplinaire résulte de la collaboration entre des personnes appartenant à différentes structures de recherche : l'IAC, le CIRAD, l'UNC, l'IRD et l'Université de Montpellier 2. Certains d'entre eux font partis d'unités mixtes de recherche (UMR AGAP et l'UMR LSTM).