

CNRT Nickel et son environnement

APPEL A PROJET 2009

Caractérisation et fonctionnement de sols de surface (topsoils), d'espèces végétales et des champignons associés, des maquis miniers de Nouvelle-Calédonie. Application à la restauration écologique des terrains dégradés

Responsable du projet : Hamid Amir (UNC)

- **Acronyme: BioTop**
- **Mots clefs: Nouvelle-Calédonie; maquis miniers; topsoils; graines; mycorhizes; espèces végétales; métaux; matière organique; diversité génétique.**

SOMMAIRE

I. RENSEIGNEMENTS GENERAUX.....	7
II. RESUME DU PROJET	10
II.1. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT DU PROJET	10
II.2. VOLET 1- CARACTERISATION DU TOPSOIL ET DE SON EVOLUTION PENDANT SON STOCKAGE EN MINE	10
1. Etat de l'art.....	10
2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet.....	11
3. Organisation du projet et description des travaux	11
II.3. VOLET 2- CONNAISSANCE ET UTILISATION DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS.....	12
1. Etat de l'art.....	12
2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet.....	12
3. Organisation du projet et description des travaux	13
II.4. VOLET 3- DYNAMIQUE DES METAUX ET DE LA MATIERE ORGANIQUE <i>IN SITU</i>.....	13
1. Etat de l'art.....	13
2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet.....	14
3. Organisation du projet et description des travaux	14
II.5. VOLET 4- DIVERSITE GENETIQUE DE QUELQUES ESPECES DES GENRES <i>TRISTANIOPSIS</i> ET <i>SCAEVOLA</i> DANS UNE PERSPECTIVE DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION ECOLOGIQUE	14
1. Etat de l'art.....	14
2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet.....	15
3. Organisation du projet et description des travaux	15
III. COORDINATION ET SYNTHESE FINALE	16
IV. CALENDRIER DES TACHES, LIVRABLES ET JALONS	16
IV.1. CALENDRIER	16
IV.2. LIVRABLES.....	17
1. Livrable pour l'ensemble du projet.....	17
2. Elements du rapport final	17
IV.3. JALONS.....	18
V. STRATEGIE ET VALORISATION DES RESULTATS ET MODE DE PROTECTION ET D'EXPLOITATION DES RESULTATS	20
VI. ORGANISATION DU PROJET	20
VI.1. DESCRIPTION, ADEQUATION ET COMPLEMENTARITE DES PARTICIPANTS	20
VI.2. QUALIFICATION, ROLE ET IMPLICATION DES PARTICIPANTS	21
VI.3. - DIMENSIONS INTERINSTITUTIONNELLES (SI PARTENARIAT), ET INTERDISCIPLINAIRES.....	21
VI.4. - QUALIFICATION DU PORTEUR DU PROJET	22
VII. PROPOSITION BUDGETAIRE	23
VII.1. BUDGET SUR ECOMINE.....	23

VII.2. BUDGET SUR TECHNOLOGIE DE LA RESTAURATION	25
VIII. ANNEXES	26
VIII.1. VERSION COMPLETE DU PROJET	26
1. Contexte et positionnement du projet.....	26
2. Volet 1- Caractérisation du topsoil et de son évolution pendant son stockage en mine.....	28
2.1. Description scientifique et technique du projet.....	28
2.1.1. <i>Etat de l'art</i>	28
2.1.2. <i>Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet</i>	30
2.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet.....	31
2.2.1. <i>Programme scientifique et organisation du projet</i>	31
2.2.2. <i>Description des travaux</i>	32
Tâche 1. : Conservation de la banque de graines.	32
Tâche 2. : Approche descriptive et fonctionnelle in et ex situ.	33
Tâche 3. : Caractérisation et suivi du potentiel mycorhizogène des topsoils.....	34
Tâche 4. : Mesure de l'activité microbienne des topsoils et suivi des métaux.	34
Tâche 5. : synthèse des tâches 1 à 4.	34
3. Volet 2- Connaissance et utilisation des champignons mycorhiziens.....	35
3.1. Description scientifique et technique du projet.....	35
3.1.1. <i>Etat de l'art</i>	35
3.1.2. <i>Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet</i>	37
3.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet.....	39
3.2.1. <i>Programme scientifique et organisation du projet</i>	39
3.2.2. <i>Description des travaux</i>	40
Tâche 1. : Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique	40
Tâche 2. : Expérimentations de mycorhization en serre	41
Tâche 3. : Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière.....	42
4. Volet 3- Dynamique des métaux et de la matière organique <i>in situ</i>	43
4.1. Description scientifique et technique du projet.....	44
4.1.1. <i>Etat de l'art</i>	44
4.1.2. <i>Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet</i>	45
4.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet.....	45
4.2.1. <i>Programme scientifique et organisation du projet</i>	45
4.2.2. <i>Description des travaux</i>	46
Tâche 1. : Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain.....	46
Tâche 2. : Fonctionnement géochimique des sols et technosols	47
5. Volet 4- Diversité génétique de quelques espèces des genres <i>Tristanopsis</i> et <i>Scaevola</i> dans une perspective de conservation et de restauration écologique.....	47
5.1. Description scientifique et technique du projet.....	47
5.1.1. <i>Etat de l'art</i>	47

5.1.2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet	48
5.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet.....	49
5.2.1. Programme scientifique et organisation du projet.....	49
5.2.2. Description des travaux.....	49
Tâche 1. : Etudes de la diversité génétique des populations de Tristaniopsis et de Scaevola.....	49
Tâche 2. : Etudes de descendances.....	50
Tâche 3. : Identification des distances de dissémination des graines.....	50
Tâche 4. : Outil moléculaire d'identification des différentes espèces calédoniennes de Tristaniopsis	50
6. Références bibliographiques	51
VIII.2. CV DU RESPONSABLE DU PROJET	55
VIII.3. CV DE CHAQUE MEMBRE DE L'EQUIPE.....	56
VIII.4. PUBLICATIONS SIGNIFICATIVES DE L'EQUIPE	77
VIII.5. IMPLICATIONS DES PERSONNES DANS D'AUTRES CONTRATS	77

I. Renseignements généraux

Titre de l'appel à projet	Caractérisation et fonctionnement de sols de surface (topsoils), d'espèces végétales et des champignons associés, des maquis miniers de Nouvelle-Calédonie. Application à la restauration écologique des terrains dégradés.
Thématique scientifique choisie Rayer celles non retenues	1- Nickel et Société 2- Nickel et Technologie → <u>Technologies de la restauration</u> 3- Nickel et Environnement naturel → <u>Ecomine</u>
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 (Biologie, écologie, sciences de la terre, géochimie environnement) B- Physique – Chimie (du sol) – Mathématiques et STIC: bioinformatique C- Technologie et sciences de l'ingénieur D- Sciences de l'homme et de la société (santé, sces humaines et économie)
Regroupement Rayer celui qui est non retenu	- Association avec des partenaires extérieurs - Non association avec des partenaires extérieurs
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.	

Nom du Responsable du projet	Hamid Amir
Organisme d'appartenance (CNRS, INSERM, Université etc.)	Université de la Nouvelle-Calédonie
Fonction	Professeur des universités, Microbiologie
Intitulé de l'Unité de recherche	EA 4243; Laboratoire Insulaire du Vivant et de l'Environnement (LIVE°)
Adresse	BP R4 – 98851 Nouméa cedex
Téléphone(s)	+687 26 58 20
Courriel	amir@univ-nc.nc
Nom des personnes de l'équipe (accompagné de : - leur spécialité, - leur organisme d'appartenance et - leur domaine de recherche	1- AMIR Hamid, Microbiologie, écologie microbienne des sols miniers UNC-LIVE
	2- FOGLIANI Bruno, Biologie et physiologie des graines des espèces végétales de milieux miniers UNC-LIVE
	3- CAVALOC Yvon, Biologie moléculaire, champignons endomycorhiziens des sols miniers UNC-LIVE
	4- PAGAND Pascal, Hydrologie, Valorisation des déchets organiques UNC-LIVE
	5- MEDEVIELLE Valérie, Technicienne biologie végétale UNC-LIVE
	6- LE MOUILLIC Soazig, Technicienne biologie animale UNC-LIVE
	7- LEBRUN Michel Physiologie végétale, biochimie des plantes et des ectomycorhizes tropicales IRD - LSTM
	8- DUCOUSSO Marc Microbiologiste et mycologue spécialiste des endo et des ectomycorhizes tropicales CIRAD - LSTM et IAC
	9 - JOURAND Philippe, Interactions symbiotiques plantes-microorganismes (bactéries et champignons) : biochimie et biologie moléculaire. IRD - LSTM
	10- MAJOREL-LOULERGUE Clarisse Ingénieur, biologie moléculaire, biochimie des plantes et des ectomycorhizes tropicales IRD - LSTM
	11- HANNIBAL Laure Ingénieur, microbiologie , biologie Moléculaire IRD - LSTM

Nom des personnes de l'équipe (accompagné de : - leur spécialité, - leur organisme d'appartenance et - leur domaine de recherche	12- L'HUILLIER Laurent, Biologiste végétal, écologie des milieux miniers, relations sol - plante IAC
	13- MAGGIA Laurent Génétique des populations, écologie moléculaire des formations végétales tropicales terrestres IAC-CIRAD
	14- BRUN-JACOB Annick Physiologie moléculaire de la nutrition des symbioses ectomycorhiziennes INRA – UHP
	15- KOHLER Annegret Biologie moléculaire, Interactions plantes-micro-organismes, Génomique, Transcriptomique INRA - UHP
	16- MARTIN Francis Ecologie, Physiologie des interactions arbres/microorganismes INRA - UHP
	17- MORIN Emmanuelle Bioinformaticienne INRA - UHP
	18- ECHEVARRIA Guillaume Disponibilité des ETM dans les sols, cycles biogéochimiques des ETM dans les sols ultramafiques, phytoextraction du Ni INPL - INRA
	19- MONTARGES-PELLETIER Emmanuelle Physicochimie des Colloïdes, Minéralogie, Spéciation des ETM CNRS - INPL
	20- THOMAS Fabien Physico-chimie des colloïdes naturels CNRS - INPL
	21- FAURE Pierre Géochimiste organicien environnemental – Analyse de la matière organique CNRS - UHP
	22- QUANTIN Cécile biogéochimiste des sols CNRS - UPS
	23- SAINTPIERRE Danielle Microbiologie et Revégétalisation de sites miniers SIRAS Pacifique
Nom du Gestionnaire du crédit	Catherine MENDIBOURE
Courriel	catherine.mendiboure@univ-nc.nc
Intitulé de l'unité/établissement gestionnaire du crédit Si différente de celle du porteur du projet	Université de la Nouvelle-Calédonie
Adresse	
Téléphone	
Courriel	

II. Résumé du projet

En raison du nombre important d'expérimentations proposées ici, le résumé ne donne qu'un aperçu des travaux ; pour plus d'information se reporter au texte principal en annexe.

II.1. Contexte et positionnement du projet

Les écosystèmes miniers de Nouvelle-Calédonie, avec un taux d'endémisme végétal supérieur à 75%, constituent un environnement exceptionnel, un des plus riches et des plus originaux du monde.

L'activité minière, en plein essor, nécessite le décapage des sols afin d'accéder au minerai. Jusqu'à présent, les sols de surface (topsoils) ont fait l'objet de peu d'attention et ne sont généralement pas réutilisés pour la restauration écologique des terrains miniers après exploitation, comme cela se fait dans d'autres pays, notamment l'Australie. La bonne gestion des topsoils est un aspect important de la réussite de la revégétalisation. En effet, ces sols contiennent non seulement les éléments minéraux nécessaires aux plantes, mais aussi un stock de graines des espèces locales, les microorganismes symbiotes de plantes, bactéries et champignons, ainsi que la matière organique dont les microorganismes ont besoin.

Le fonctionnement de ces sols, à la fois sur les plans physico-chimique, biologique et microbiologique, a fait l'objet de peu d'études. Les champignons symbiotes de plantes ou mycorhiziens, méritent une attention particulière en raison de leur rôle important dans l'adaptation et le développement des plantes dans ces écosystèmes (Amir, 2003 ; Perrier *et al.*, 2006).

Le projet proposé ici est centré sur l'étude du fonctionnement des topsoils. Les expérimentations ont été pensées en vue d'aboutir à des recommandations pratiques sur les méthodes de gestion du topsoil, de mycorhization des plantes et de gestion de la biodiversité génétique pour la restauration écologique, après exploitation minière. Le projet comporte les 4 volets suivants :

- 1- Caractérisation du topsoil et de son évolution pendant son stockage avec suivi du potentiel séminal, du potentiel mycorhizogène, de l'activité microbienne et de la dynamique des métaux en relation avec l'activité microbienne
- 2- Connaissance et utilisation des champignons mycorhiziens avec :
 - Un complément d'étude sur la diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules (MA) et ectomycorhiziens (ECM) dans les sols miniers, ainsi que la caractérisation de gènes d'adaptation chez un champignon ECM.
 - Des expérimentations en serre : sur le potentiel ectomycorhizien de topsoils avec des plants de *Tristaniaopsis*, sur l'endomycorhization et la croissance de plants de *Costularia comosa* en fonction des doses d'engrais phosphatés et sur l'enrobage de graines prégermées d'*Alphitonia neocaledonica* avec des spores endomycorhiziennes, en vue de leur utilisation en hydroseeding.
 - Une expérimentation sur terrain sur les effets d'apports d'inoculum mycorhiziens sur des plants du genre *Tristaniaopsis*.
- 3- L'étude de la dynamique des métaux potentiellement toxiques et du devenir de la matière organique et de quelques éléments minéraux, couplée aux expérimentations sur terrain (conservation du topsoil, essais de mycorhization, amendements organiques).
- 4- L'étude de la diversité génétique de quelques espèces de *Tristaniaopsis* et *Scaevola* dans une perspective de conservation et de restauration des milieux.

Le projet fait intervenir six équipes possédant des compétences et des spécialités complémentaires, afin d'aborder les différents aspects de la problématique du topsoil et de la diversité génétique.

II.2. Volet 1- Caractérisation du topsoil et de son évolution pendant son stockage en mine

1. Etat de l'art

Les topsoils sont des sources importantes de graines, de propagules et de microorganismes, et pour certaines plantes ils constituent la seule réserve de propagules à partir desquelles une espèce pourra s'installer après exploitation minière. Ward *et al.* (1996) ont montré dans le sud ouest australien (forêt de Jarrah, mines Alcoa) que 72% des espèces qui se sont réimplantées provenaient du topsoil.

Les travaux menés dans ce domaine en Nouvelle-Calédonie sont quasi inexistantes. Jusqu'à présent et dans le cadre de l'optimisation de la restauration écologique des terrains miniers dégradés, les recherches se sont attachées dans des conditions de laboratoire à rechercher empiriquement le moyen de faire germer les

graines par des actions diverses comme la scarification et la stratification (Fogliani *et al.*, 2004). Cependant, la mise en relation des ces résultats avec les conditions naturelles reste encore aujourd'hui trop rare. Quelques études ont démarré sur ce sujet récemment (L'Huillier, 2007). Elles ont montré l'extrême variabilité dans la réponse des topsoils en termes de germinations selon leur milieu et les formations végétales en place et l'importance des cypéracées.

Les microorganismes symbiotes jouent un rôle fondamental dans le développement et l'adaptation au milieu de la plupart des espèces végétales. Les sols miniers actifs sont relativement riche en champignons mycorhiziens (Perrier *et al.*, 2006) ; mais le stockage des topsoils a un effet dépressif sur la survie de ces symbiotes (Jasper *et al.*, 1989), effet d'autant plus important que le stockage est long. En Nouvelle-Calédonie, aucune étude n'a été réalisée dans ce sens, pour déterminer à partir de quel temps de stockage, le topsoil perdait l'essentiel de son potentiel mycorhizogène.

L'activité microbienne globale est directement corrélée à la fertilité du sol. Toutefois, l'activité bactérienne intervient dans la libération de métaux qui peuvent se révéler toxiques (Quantin *et al.*, 2002; Amir et Pineau, 2003). Le stockage du topsoil favorise-t-il la libération de certains métaux toxiques, notamment lorsqu'il est stocké dans des conditions de faible aération, propices à ce type de bactéries ?

2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

Nous avons peu de données sur les modalités optimales de conservation et de gestion des topsoils néocalédoniens.

Le volet 1 de ce projet propose à la fois une expérimentation sur le terrain concernant le stockage et la gestion du topsoil, des travaux de recherche *in situ* et des expérimentations en serre et au laboratoire sur les topsoils. La caractérisation et le suivi de la banque de graines, du potentiel mycorhizogène et de l'activité microbienne permettront d'obtenir les informations nécessaires pour mieux maîtriser sa conservation et son utilisation.

3. Organisation du projet et description des travaux

Une expérimentation sur la conservation du topsoil sera mise en place avec 3 modalités : une parcelle témoin représentative de la diversité végétale naturelle de la zone, un topsoil de la même zone récemment décapée, stocké en tas, un topsoil de la même zone stocké épandu en couche de 40-50 cm. Des topsoils d'autres stations seront également analysés pour compléter les données de cette expérimentation. Les principales tâches de ce volet sont les suivantes :

- **Tâche 1 :** Caractérisation de la banque de graine des topsoils, de leur potentiel séminal, de leur diversité et de leur évolution sur les parcelles expérimentales, en conditions naturelles comparées aux différentes conditions de stockage. Un suivi sur 3 ans de ces paramètres sera réalisé. Des expérimentations comparatives porteront également sur la conservation des graines dans les topsoils en mettant l'accent sur 4 espèces pionnières des milieux ultramafiques néo-calédoniens, par des études en laboratoire (caractérisation de la structure externe et interne des semences, étude de leurs réserves séminales et de leur mode de conservation) et des études de terrain (suivi de la capacité germinative des semences en milieu naturel au cours du temps, estimation de la longévité des graines en fonction de la profondeur d'enfouissement). Ces espèces sont les suivantes : *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae), *Tristiaopsis guillainii* (Myrtaceae), *Scaevola montana* (Goodeniaceae) et *Costularia comosa* (Cyperaceae).

- **Tâche 2 :** Approche descriptive et fonctionnelle. Les mêmes paramètres qu'en tâche 1 seront étudiés sur des topsoils de différents autres sites afin d'analyser la diversité des comportements des topsoils, en mettant l'accent sur les relations avec la végétation en place.

- **Tâche 3 :** Caractérisation puis suivi périodique (tous les 4-6 mois sur 3 ans) du potentiel mycorhizogène des topsoils, avec mesure du nombre de spores MA viables et détermination du potentiel par mycorhization de plantes pièges.

- **Tâche 4 :** Suivi régulier sur 3 ans de l'activité microbienne des topsoils selon les différentes conditions de stockage. Parallèlement, un suivi des différentes fractions des principaux métaux (Ni, Co, Mn, Cr, Fe, Mg) sera effectué et mis en relation avec les activités microbiennes et avec les autres caractéristiques des sols (aération, taux de matière organique, ...).

- **Tâche 5 :** Synthèse et évaluation de méthodes de gestion du topsoil. Les pratiques pouvant être mises en œuvre par les mineurs feront l'objet de recommandations précises.

II.3. Volet 2- Connaissance et utilisation des champignons mycorhiziens

1. Etat de l'art

Les symbioses mycorhiziennes jouent un rôle particulièrement important dans les milieux pauvres en raison de leur contribution à l'apport d'éléments minéraux à la plante. Ils interviennent aussi dans l'adaptation des plantes au stress hydrique et aux fortes concentrations en métaux lourds. Pourtant très peu d'études ont été réalisées sur l'importance et le rôle des mycorhizes en milieu ultramafique (Turnau *et al.*, 2003 ; Perrier *et al.*, 2006 ; Amir *et al.*, 2007).

La diversité des champignons mycorhiziens des sols ultramafiques de Nouvelle-Calédonie est encore peu connue. Perrier (2005) a mis en évidence un nombre important d'espèces de champignons ECM, dont plusieurs sont nouvelles, mais ce travail reste à compléter. Quant aux champignons MA, si l'on sait que le genre *Glomus* est dominant, l'étude de leur diversité est à ses débuts. Compléter ces études est important pour une bonne gestion des processus de mycorhization dans les pratiques de revégétalisation, en utilisant le potentiel mycorhizogène de façon optimale.

Les expérimentations réalisées dans ce volet concernent 3 des 4 genres végétaux choisis dans ce projet : *Tristaniopsis*, *Costularia* et *Alphitonia*.

Les espèces du genre *Tristaniopsis* sont omniprésentes dans les maquis miniers de basse et moyenne altitude de Nouvelle-Calédonie. Le caractère grégaire de ces espèces est lié à leur capacité à former des ectomycorhizes avec des champignons supérieurs comme les russules, les amanites, les théléphores, les laccaires, les pisolithes... Des essais au laboratoire ont permis de constater l'extrême tolérance au nickel des souches de *Pisolithus albus* provenant des maquis miniers (Jourand *et al.*, soumis). Ces souches associées à *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) permettent d'accroître la tolérance au nickel des couples symbiotiques et contribuent ainsi à l'adaptation de la plante à une contrainte environnementale majeure.

La caractérisation de l'expression des gènes fongiques liés à la tolérance aux métaux et au prélèvement des macronutriments dans les sols ultramafiques, est une donnée indispensable pour identifier des indicateurs de l'activité mycorhizienne, en particulier pour le suivi de l'établissement des communautés fongiques lors de l'utilisation de topsoils pour la restauration.

Les Cypéracées constituent la seule strate herbacée des maquis miniers. Parmi elles, le genre *Costularia* comporte des plantes pionnières que l'on retrouve en premier parmi celles qui recolonisent les terrains miniers dégradés. Une étude récente (Lagrange *et al.*, soumis), montre que ces plantes, classiquement considérées comme non mycorhiziennes, sont associées à des champignons MA dans les maquis miniers néocalédoniens et que leur degré de mycorhization augmente avec un apport modéré de phosphore.

L'espèce *Alphitonia neocaledonica*, particulièrement abondante dans la plupart des maquis miniers est fréquemment utilisée en revégétalisation, aussi bien en plantation que par la technique d'hydroseeding. Des expériences en serre ont démontré que l'apport de champignons MA stimulait sa croissance et augmentait sa tolérance au nickel (Amir et Lagrange, 2008).

Les études de ce volet comportent un complément d'inventaire de biodiversité des champignons mycorhiziens, la recherche de gène d'adaptation au milieu ultramafique, des expérimentations de mycorhization en serre et une expérimentation de mycorhization sur le terrain.

2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

- Tâche 1 : Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique

L'objectif général de cette action est d'obtenir des informations scientifiques pertinentes pour permettre une gestion optimale de la diversité des symbiotes fongiques dans la restauration écologique des terrains miniers dégradés. Nous proposons de caractériser les espèces indigènes de champignons et de rechercher des gènes d'adaptation à la contrainte serpentique.

- Tâche 2 : Expérimentations de mycorhization en serre

Les 3 expérimentations proposées ici concerneront essentiellement des compléments d'étude en conditions semi-contrôlées afin de mieux maîtriser les essais sur le terrain.

- **Sous-tâche 1** : Influence de différents inoculum ECM en mélange, provenant de topsoils, sur la croissance et la survie de plants de *Tristaniopsis guillainii*.
- **Sous-tâche 2** : Influence de la fertilisation phosphatée sur la qualité et l'intensité de l'endomycorhization chez *Costularia comosa*. Il s'agit essentiellement de déterminer les doses de fertilisants favorables à la mycorhization.
- **Sous-tâche 3** : Mise au point d'une technique d'enrobage des graines d'*Alphitonia neocaledonica*

en vue de son utilisation en hydroseeding et influence de l'inoculum produit sur la croissance et l'adaptation des plants.

- **Tâche 3 :** *Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière*

Aucune expérimentation de ce type n'a encore été réalisée en milieu ultramafique dans le monde. Sur le plan pratique, il s'agit d'évaluer l'apport relatif d'une inoculation contrôlée avec des souches fongiques sélectionnées, en termes de croissance et d'adaptation des plantes aux maquis miniers. Par ailleurs, une localisation et un suivi microscopique de la dynamique des métaux dans la rhizosphère des plantes inoculées seront réalisés, en relation avec le volet 3.

3. Organisation du projet et description des travaux

- **Tâche 1 :** *Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique.*

Il s'agit d'identifier les principales espèces de champignons MA des sols ultramafiques néocalédoniens et de compléter l'inventaire de la biodiversité des champignons ECM associés aux *Tristaniopsis* spp en élargissant les prospections à plusieurs massifs. Enfin, des gènes d'adaptation des champignons ECM au syndrome serpentinique seront recherchés en utilisant les techniques les plus actuelles dans ce domaine. Ces données pourront ensuite être utilisées pour choisir les modalités de l'expérimentation de mycorhization sur terrain.

- **Tâche 2 :** *Expérimentations de mycorhization en serre.*

- **Sous-tâche 1 :** Influence d'un mélange de différents inoculums ECM, provenant de topsoils, sur la croissance et la survie de plants de *Tristaniopsis guillainii*. Il s'agit de réaliser en serre des assemblages contrôlés de topsoil renfermant des mycéliums de champignons ectomycorhiziens. Des plants de *Tristaniopsis guillainii* seront cultivés sur ces assemblages afin de caractériser l'effet de la diversité des mycorhizes sur la croissance et la survie de la plante hôte.
- **Sous-tâche 2 :** Influence de la fertilisation phosphatée sur la qualité et l'intensité de l'endomycorhization chez *Costularia comosa*. Différentes concentrations de phosphore seront testées concernant leur influence sur la mycorhization des plants de *Costularia comosa* sur topsoil. Une souche fongique MA sélectionnée, ainsi qu'un inoculum naturel seront utilisés. La croissance et la survie des plants seront alors suivies et le lien avec le degré de mycorhization sera analysé.
- **Sous-tâche 3 :** Mise au point d'une technique d'enrobage des graines d'*Alphitonia neocaledonica* en vue de son utilisation en hydroseeding. Dans un premier temps, une étude au laboratoire consistera à rechercher des composés ou des mélanges permettant de faire adhérer sur les graines pré-germées d'*Alphitonia neocaledonica* une suspension de spores de champignon MA. Ensuite, les graines ainsi enrobées seront semées sur topsoil et un suivi régulier de leur croissance et de leur survie sera effectué. Les résultats seront ensuite appliqués à *Costularia comosa*.

- **Tâche 3 :** *Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière.*

Les plants de *Tristaniopsis guillainii*, cultivés en pépinières, seront inoculés ou non avec une souche de *Pisolithus albus* (ECM), et/ou de *Glomus etunicatum* (MA) avant d'être transférés sur une parcelle de terrain minier. Un suivi est alors réalisé sur une période minimale de 3 ans. Par ailleurs, les métaux seront localisés dans la rhizosphère des plantes inoculées et un suivi microscopique de leur dynamique sera réalisé. Ce travail est en relation avec le volet 3.

II.4. Volet 3- Dynamique des métaux et de la matière organique *in situ*

1. Etat de l'art

Ce volet comporte une expérimentation sur le terrain concernant les effets d'amendements organiques, décrite dans la **tâche 1** et une étude du fonctionnement géochimique des sols et technosols utilisés ici, développée dans la **tâche 2**.

- **Tâche 1 :** *Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain*

Les boues de stations d'épuration (STEP) constituent un grand réservoir de nutriments qui permet d'améliorer la fertilité des sols et de favoriser le développement de la couverture végétal. Elles améliorent la germination des graines et réduisent leur mortalité (Haraldsen and Pedersen, 2003; Selivanovskaya and Latypova, 2006). L'effet des boues de STEP intervient aussi au niveau des propriétés physiques du sol

notamment en modifiant la porosité du sol (Pagliai *et al.*, 1981). D'autres matières organiques disponibles en Nouvelle-Calédonie peuvent aussi être utilisées, notamment des composts végétaux.

- Tâche 2 : Fonctionnement géochimique des sols et technosols

La mobilité et la biodisponibilité des éléments métalliques dans les écosystèmes dépendent des conditions physico-chimiques, des modes d'interaction avec les constituants organiques ou inorganiques et des activités biologiques du milieu. La disponibilité de Cr et Ni dans les sols ultramafiques tropicaux est contrôlée en grande partie par les oxy-hydroxydes de Fer et de Mn (Echevarria *et al.*, 2006 ; Garnier *et al.*, 2009). L'étude de la biodisponibilité des métaux par modélisation sur des colonnes reconstituées est une technique scientifique récente qui permet de simuler par la suite les effets d'itinéraires agronomiques sur les sols (*e.g.* pratiques d'amendement organique et de fertilisation minérale).

2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

- Tâche 1 : Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain

Il s'agit de réaliser un bilan des différents types d'amendement organiques utilisés pour la restauration des sites dégradés, avec un intérêt particulier pour l'utilisation des boues de stations d'épuration. La disponibilité du phosphore sera estimée. Une étude sur la compétition entre les bactéries allochtones apportées par les boues organiques et les champignons mycorhiziens du sol sera effectuée, en relation avec le volet 2.

- Tâche 2 : Fonctionnement géochimique des sols et technosols

Les objectifs de cette partie sont d'analyser la spéciation du nickel et du chrome dans différents topsoils et technosols et d'en tirer des conclusions concernant leur biodisponibilité et leur toxicité potentielle vis-à-vis des plants utilisés en revégétalisation et/ou en termes de ruissellement (pollution de l'environnement proche des mines). Il s'agit d'étudier l'évolution de la matière organique de ces sols et ses conséquences sur la fertilité des sols et d'analyser les liens entre la matière organique et les métaux.

3. Organisation du projet et description des travaux

Cinq types de sols seront suivis sur parcelles expérimentales : un sol naturel non remanié (futur stérile minier), un technosol jeune (stérile minier +/- topsoil) non amendé, un technosol jeune (stérile minier) amendé par apport de boues de STEP, un technosol jeune (topsoil) amendé par apport de boues de STEP et un technosol ancien (plus de 10 ans après revégétalisation).

- Tâche 1 : Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain

Sur chacune des parcelles de la zone d'étude, les variables biométriques des plantes modèles mises en culture seront suivies. Les concentrations des éléments majeurs (N, P et C) seront analysées dans chaque parcelle expérimentale et dans les différents compartiments des plantes (racines, tiges, feuilles).

- Tâche 2 : Fonctionnement géochimique des sols et technosols

- **Sous-tâche 1 : géochimie des sols.** Pour chaque type de sol, les phases minérales majeures et porteuses de métaux présents seront caractérisées finement ainsi que leur distribution spatiale et leur spéciation en utilisant des techniques minéralogiques globales (DRX, FTIR) et microscopiques (MEB/MET-EDXS). Une étude analytique et qualitative de la matière organique sera également réalisée par CPG-MS et par HPLC-GPC.
- **Sous-tâche 2 : Modélisation de la disponibilité des métaux.** Dans des systèmes modèles contrôlés (colonnes reconstituées approchant la composition des principaux types de matériaux stériles), la distribution chimique des métaux et des nutriments sera estimée au moyen de codes de calcul géochimique de type PHREEQC ou IMPACT.

II.5. Volet 4- Diversité génétique de quelques espèces des genres *Tristanopsis* et *Scaevola* dans une perspective de conservation et de restauration écologique

1. Etat de l'art

Parmi les effets négatifs de l'exploitation minière, la fragmentation des milieux et perte de diversité biologique sont des effets connus (Kettle *et al.*, 2007). Pour réduire ces effets, il est aujourd'hui préconisé la mise en préservation, en amont de l'exploitation minière, de sites choisis pour la qualité de la biodiversité qui y est présente, sites nodaux, ainsi que de corridors écologiques les reliant, véritables voies de communications et d'échanges entre les sites nodaux (Tewksbury *et al.*, 2002). La production de plants et leur réinsertion s'est

également avérée nécessaire. Cette restauration forestière se doit d'être effectuée en respectant au mieux l'état originel des sites concernés, et ceci nécessite une évaluation de la biodiversité forestière par une approche estimative de la diversité génétique de chacune des espèces qui la composent. Pour que les populations résiduelles soient viables, il est donc indispensable de maintenir et favoriser la diversité génétique qui les compose, avec des effectifs adéquats, pour pouvoir assurer les flux de gènes essentiels à leur survie.

Parmi les espèces d'écotypes miniers calédoniens, celles des genres *Tristaniopsis* et *Scaevola* y sont particulièrement bien représentées. *Tristaniopsis calobuxus*, *T. guillainii*, et *Scaevola montana*, caractérisées de pionnières, sont déjà utilisées avec plus ou moins de succès dans les campagnes de restauration. Dans le but d'optimiser leur emploi nous nous proposons dans cette étude d'approfondir, pour ces trois espèces, nos connaissances sur leur dynamique spatiale, et plus particulièrement l'effet de l'impact de la fragmentation des milieux sur cette dernière ; et leur dynamique temporelle, en mettant en évidence, s'il y a lieu, l'érosion dans le temps de la diversité génétique que les populations naturelles peuvent subir en milieu minier.

D'une manière générale, il s'agit là de comprendre où et comment mettre en œuvre les moyens nécessaires pour reconstituer les éléments manquants ou défaillants des réseaux écologiques, ensemble des sites nodaux et corridors qui leurs sont associés, à partir des trois espèces modèles citées. On notera également que parmi les espèces de *Tristaniopsis* certaines sont classées sensibles sur la liste de l'UICN (Jaffré *et al.*, 1998). Ce qui confère un intérêt tout particulier à notre étude.

2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

Nos objectifs sont de fournir des recommandations aux activités de préservations et restaurations des sites exploités, en faisant un "état des lieux" des populations de *Tristaniopsis* et *Scaevola* impactées. De celui-ci sera déduit, si besoins est, les besoins en renforcement des effectifs en identifiant les sites semenciers à partir desquels seront prélevées les graines nécessaires aux productions de plants. Enfin l'étude permettra de fournir un appui moléculaire à la caractérisation de la diversité spécifique des *Tristaniopsis* calédoniens.

3. Organisation du projet et description des travaux

L'organisation de cette étude comprendra les tâches suivantes :

- **Tâche 1 :** *Etudes de la diversité génétique des populations de Tristaniopsis et de Scaevola.*

Il s'agit d'évaluer la diversité génétique des populations de *Tristaniopsis* et de *Scaevola* présentes sur des sites miniers impactés de "référence", pour les comparer à celles observées à l'échelle du territoire. Cette tâche permettra d'estimer l'impact de l'exploitation minières sur leurs diversités génétiques et leur évolution temporelle. Ces niveaux de diversité génétique seront définis à partir de l'analyse de la diversité allélique de locus ADN très variables (microsatellites) à identifiés pour chacune des espèces étudiées.

- **Tâche 2 :** *Etudes de descendance.*

Conduire des études de descendance dans le but d'identifier les distances de pollinisation qui permettront ultérieurement de définir les écarts maxima entre deux populations, ou plantations, favorisant les flux de gènes entre elles. L'identification d'une vingtaine de reproducteurs sera faite et des récoltes de graines seront effectuées dans le but d'élever en pépinière une trentaine de descendance par pied mère. L'analyse génétique des descendance et des pieds mères sera effectuée, comme décrit précédemment, et le profil des pères déduit par différence.

- **Tâche 3 :** *Identification des distances de dissémination des graines.*

A partir des études de démo-génétique faites sur les populations modèles ainsi que celles conduites sur la structuration de la diversité génétique à l'échelle du territoire, il s'agira de retracer un modèle de dynamique spatiale capable d'estimer les distances de dissémination de graine pour chacune des espèces considérées.

- **Tâche 4 :** *Outil moléculaire d'identification des différentes espèces calédoniennes de Tristaniopsis.*

Il s'agit d'effectuer une taxonomie par approche moléculaire du groupe des *Tristaniopsis* calédoniens. Cet outil, véritable « base de données de profils d'identité moléculaire spécifique », permettra à terme d'identifier à toute époque de l'année l'espèce à laquelle appartient le ou les individus rencontrés sur le terrain. Pour ce faire, une base de données de caractérisation et différenciation, par marqueurs moléculaires (profils microsatellites/séquences d'ADN), de chaque espèce du genre *Tristaniopsis* répertoriée sur le territoire est à constituer

III. Coordination et synthèse finale

La partie coordination a été placée après le résumé des travaux, en raison de la diversité des parties traitées dans les pages précédentes, celle-ci ne pouvant apparaître dans chaque partie distincte.

Pour des raisons d'efficacité et de complémentarité, 2 coordinateurs sont désignés:

- Le responsable du projet, coordinateur principal: Hamid Amir, UNC-LIVE.
- Un coordinateur secondaire, chargé notamment de la coordination des travaux sur le terrain: Laurent L'Huillier, IAC axe2. En effet, le coordinateur principal étant par ailleurs enseignant, sa disponibilité pour des sorties sur terrain est relativement faible.

La coordination de l'ensemble des travaux sera prise en charge par des réunions périodiques (au minimum 2 fois par an), de préférence pendant les périodes de passage des chercheurs métroloitiens à Nouméa. Une première réunion générale, en début de projet, permettra d'harmoniser les interventions des différents chercheurs, notamment pour les expériences sur le terrain, qui sont communes à plusieurs chercheurs de différentes institutions. A chaque réunion un point sur l'évolution des différents volets et tâches sera fait et les interactions entre les tâches seront discutées et planifiées.

Des synthèses entre les différentes tâches interactives seront réalisées régulièrement (au minimum une fois par an), d'abord par un travail personnel de chaque intervenant puis par une réunion de synthèse.

En fin de projet, une synthèse générale sera programmée, d'abord par chaque groupe (pour les différents volets du projet), puis pour l'ensemble du projet, lors d'une journée de travail commune qui produira un document de synthèse, préalable au rapport final.

IV. Calendrier des tâches, livrables et jalons

IV.1. calendrier

Le calendrier qui suit porte à la fois sur le projet « Ecomine » et sur le projet « Technologie de la restauration ».

		Activité importante				Activité moindre							
Tâches et sous-tâches	Projet *	année 1				année 2				année 3			
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Volet 1													
Tâche 1	E/T												
Tâche 2	E												
Tâche 3	E/T												
Tâche 4	E												
Tâche 5	E/T												
Volet 2													
Tâche 1	E												
Tâche 2, ss-tâche 1	E												

Tâches et sous-tâches	Projet *	année 1					année 2				année 3		
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Tâche 2, ss-tâche 2	E/T												
Tâche 2, ss-tâche 3	T												
Tâche 3	E												
Volet 3													
Tâche 1	E/T												
Tâche 2, ss-tâche 1	E												
Tâche 2, ss-tâche 2	E												
Volet 4													
Tâche 1	E												
Tâche 2	E												
Tâche 3	E												
Tâche 4	E												
Coordination													

* Projet : nom du projet concerné : E = Ecomine, T = Technologie de la restauration.

IV.2. Livrables

1. Livrable pour l'ensemble du projet

- Rapport final, reprenant l'ensemble des données, informations et recommandations détaillées ci-après au sein des volets (cf. point 6.2.2).
- Pour tout volet et toute tâche : publications scientifiques dans des revues à facteur d'impact ISI.
- Guide d'utilisation des topsoils (récupération, manipulation, stockage, épandage).
- Fiche synthétique d'utilisation topsoil (volet 1).
- Fiche utilisation des mycorhizes (volet 2).
- Fiche sur les pratiques agronomiques et la reconstitution de technosols et leurs conséquences sur la mobilité des métaux (volet 3).
- Technique moléculaire d'identification des espèces rares et menacées du genre *Tristaniopsis* calédoniens (volet 4).
- Formations d'étudiants et de jeunes chercheurs à et par la recherche.

2. Elements du rapport final

Volet 1

1. Recommandations en matière de gestion du topsoil en vue d'optimiser la conservation de sa banque de graines, des symbiotes fongiques, de l'activité microbienne globale et de minimiser la toxicité métallique, pour la restauration écologique des sites exploités par l'activité minière.
2. Définition des topsoils et production d'indicateurs de qualité.
3. Caractérisation des graines de 4 espèces pionnières, et recommandations en matière de conservation en conditions contrôlées.

Volet 2

1. Liste des principales espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules et de champignons ectomycorhiziens naturellement associés au *Tristaniopsis* spp présents dans les sols miniers de Nouvelle-Calédonie, nouvelles espèces de champignons.
2. Recommandations en matière de gestion de la biodiversité des champignons mycorhiziens des topsoils.
3. Détermination des pratiques de fertilisation lors de la mise en place des cypéracées, pour optimiser leur mycorhization et leur croissance en revégétalisation.
4. Technique d'enrobage des graines avec des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules, pour leur utilisation optimale en hydroseeding.
5. Production d'indicateurs d'adaptation et de fonctionnement des champignons ectomycorhiziens dans les tops soils

Volet 3

1. Revue des techniques d'amendements organiques pour la restauration des sites dégradés.
2. Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain, et recommandations pour l'utilisation des boues de STEP pour l'épandage sur site minier
3. Caractérisation complète des phases minérales des stériles et du topsoil, Caractérisation de la MO des sols natifs (topsoil) et des technosols de stériles miniers amendés par des boues.
4. Facteurs contrôlant la disponibilité des métaux dans les différents traitements
5. Comparaison des résultats de la modélisation avec les séries de données obtenues par les bougies poreuses dans la sous-tâche 2.1.
6. Utilisation du modèle en simulation et optimisation des pratiques de reconstitution de sols et de gestion agronomique.

Volet 4

1. Etat des populations et identification des groupes semenciers compatibles
2. Définition des distances inter-populations maximum à respecter pour le maintien des flux de gènes.
3. Estimation des effectifs nécessaires à l'établissement de « populations starter » à partir desquelles une recolonisation spatiale est possible.
4. Moyen d'identification des espèces de *Tristaniopsis* tout au long de l'année.

IV.3. Jalons

Volet 1

- J01 : Mise en place sur le terrain des parcelles d'essai.
- J02 : Mise en place des expérimentations en serre et au laboratoire.
- J03 : Nombre d'échantillons de topsoil prélevés et caractérisés.
- J04 : Valeurs de densités et courbes d'évolution sur 3 ans des spores MA viables, de l'activité globale et des formes de métaux présents dans les topsoils étudiés à l'état naturel.
- J05 : Synthèse des différents paramètres étudiés au volet 1 décrivant l'état naturel du sol, et de leur évolution sur 3 ans.

Volet 2

- J01 : Réalisation des prospections mycologiques ; nombre de prospections réalisées, nombre de sites prospectés ; collecte des échantillons de sols et de racines sur sites.

- J02 : Description et identification d'espèces de champignons ectomycorhiziens et endomycorhiziens, synthèse des données de prospection.
- J03 : Réalisation des séquençages
- J04 : Réalisation des arbres phylogénétiques et liste des espèces.
- J05 : Mise en place en serre d'essai d'inoculation de plants de *Tristaniopsis guillainii* avec des tops soils sélectionnés.
- J06 : Caractérisation moléculaire des champignons ectomycorhiziens présents dans les tops soils sélectionnés.
- J07 : Estimation des effets des différents traitements d'inoculation sur la croissance et la survie des plants de *Tristaniopsis guillainii*.
- J08 : Mise en place de l'expérimentation en serre avec *Costularia comosa*
- J09 : Tableaux de valeurs des intensités de mycorhization en fonction des concentrations en P pour *Costularia comosa*.
- J10 : Tableaux de croissance et de corrélation entre croissance, fertilisation et mycorhization pour *Costularia comosa*.
- J11 : Mise en place de l'expérience d'enrobage des graines d'*Alphitonia* avec des spores MA
- J12 : Réussite de l'enrobage attesté par l'adhésion correcte des spores à l'état viable
- J13 : Mise en place en serre de l'expérimentation sur le développement des graines enrobées.
- J14 : Tableau de différences de croissance et de mycorhization entre les traitements testés pour *Alphitonia*.
- J15 : Identification et caractérisation de l'expression de gènes candidats de l'adaptation ultramafique chez *P. albus*
- J16 : Validation quantitative de l'expression des gènes candidats isolés
- J17 : Mise en place au champ d'un essai de mycorhization contrôlée de *Tristaniopsis guillainii* par *Pisolithus albus*.
- J18 : Analyse de l'expression des gènes indicateurs dans l'essai *in situ* et les top-soils en milieux contrôlés

Volet 3

- J01 : Mise en place des parcelles d'essai en partenariat avec les autres volets (1&2).
- J02 : Mise en place du protocole de suivi (biométrie) et de la stratégie échantillonnage
- J03 : Analyses chimiques des sols et des végétaux pendant les 2,5 ans de suivi
- J04 : Prélèvements des terres sur le terrain – Importation des échantillons en métropole (procédure en accord avec le SRPV)
- J05 : Caractérisation analytique minérale, minéralogique, observation microscopie électronique, caractérisation quantitative et qualitative de la MO.
- J06 : Caractérisation de la réactivité des phases porteuses minérales et organiques vis-à-vis des métaux (Ni, Cr, Co). Acquisition de données thermodynamiques pour la phase de modélisation
- J07 : Acquisition des solutions sur les parcelles expérimentales et caractérisation des compositions des solutions
- J08 : Réalisation, instrumentation et mise au point des colonnes de terres issues des différents traitements de la tâche 1.
- J09 : Calage du modèle géochimique ; Comparaison des résultats de la modélisation avec les séries de données obtenues par les bougies poreuses dans la sous-tâche 2.1.
- J10 : Utilisation du modèle en simulation et optimisation des pratiques de reconstitution de sols

et de gestion agronomique.

Volet 4

J01 : Prospections terrain, base de donnée.

J02 : Mise au point d'outils moléculaires.

J03 : Nombre de descendance étudiées.

J04 : Profils microsatellites réalisés, nombre de séquences effectuées sur des individus du genre *Tristaniopsis*.

V. Stratégie et valorisation des résultats et mode de protection et d'exploitation des résultats

Les résultats seront valorisés à travers :

- Des publications de rang A
- Des communications à des congrès
- Des mémoires techniques simplifiés pour l'utilisation pratiques des résultats, avec fiches techniques
- La formation d'étudiants et de jeunes chercheurs
- Un transfert de technologies, notamment vers une des entreprises de restauration écologique. Il n'est pas prévu d'accord de secret ou de confidentialité, précisément pour permettre une large diffusion locale des résultats, notamment des techniques ou technologies mises au point.

VI. Organisation du projet

VI.1. Description, adéquation et complémentarité des participants

Les 6 équipes qui interviennent dans ce projet sont totalement complémentaires. En effet, chaque équipe comporte des spécialités qui sont absentes chez les autres équipes (voir tableau dans la partie "dimensions interinstitutionnelles, interdisciplinaires et internationales). Les spécialités ainsi regroupées sont les suivantes:

- UNC: Biologie végétale, écologie microbienne, biologie moléculaire, écologie et valorisation des déchets.
- IRD-LSTM: Physiologie végétale, biochimie, écologie microbienne, biologie moléculaire
- IAC Axe 2: Pédologie et biologie végétale, génétique des populations
- SIRAS-Pacifique: microbiologie, aspects pratiques de la restauration écologique.
- Collaborateurs métropolitains: pédologie (spéciation des métaux et analyse de la matière organique), interactions plantes-microorganismes, physiologie moléculaire, écologie végétale, bioinformatique, géochimie, biogéochimie des sols.

Ainsi, presque tous les aspects concernant les sols et les végétaux des écosystèmes étudiés dans ce projet sont maîtrisés par l'équipe élargie.

Le schéma de la Figure 1 montre clairement la convergence des différentes compétences de l'équipe vers l'objectif principal du projet, à savoir aboutir à des recommandations claires concernant un nombre important d'aspects de la restauration écologique des terrains miniers dégradés.

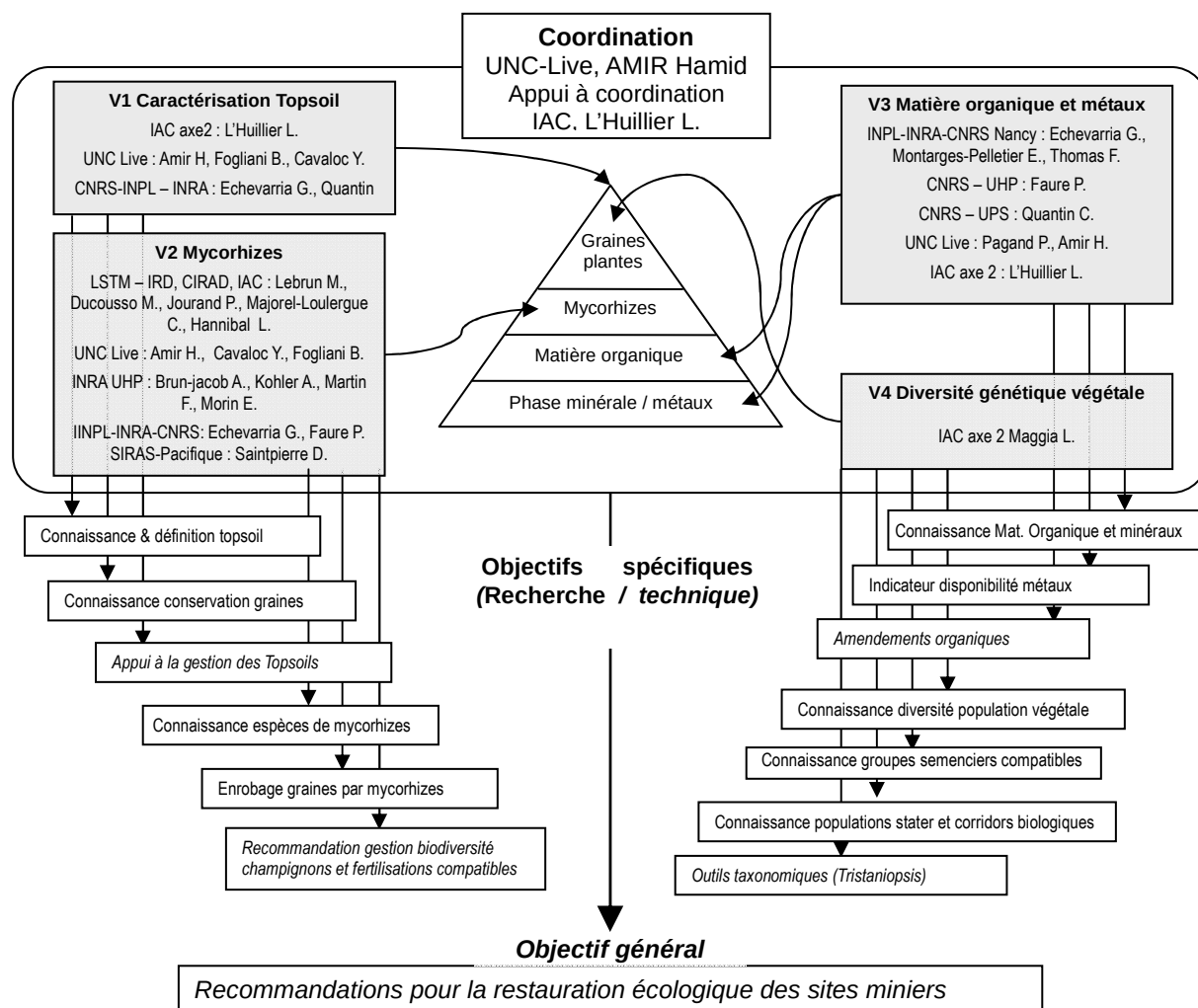


Figure 1 : Schéma d'organisation générale

VI.2. Qualification, rôle et implication des participants

Les rôles des différentes institutions et participants, ainsi que la cohérence de leurs interventions respectives au sein du projet sont illustrés par la Figure 1, ci-dessus. Toutes les équipes intervenant sont impliquées fortement pour au moins un des 4 volets du projet, plusieurs chercheurs étant impliqués dans 2 ou 3 volets faisant ainsi le lien entre les différents volets. Comme on peut le constater à travers les CV en annexe, la très grande majorité des participants sont hautement qualifiés pour les tâches qui sont proposées dans le projet.

VI.3. - Dimensions interinstitutionnelles (si partenariat), et interdisciplinaires

Différentes institutions sont engagées dans ce projet, comme le montre les CV des intervenants. En Nouvelle-Calédonie 4 institutions sont concernées: l'UNC, à travers l'équipe du LIVE, l'IRD à travers l'équipe du LSTM, l'IAC-CIRAD Axe 2 et l'entreprise de restauration minière SIRAS-Pacifique. Les spécialistes métropolitains appartiennent à diverses institutions, notamment l'INRA, l'UHP, l'INPL, le CNRS et l'UPS. L'interdisciplinarité du projet est illustrée par le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Relation entre les équipes, les disciplines et les actions de recherche du projet

Participants	Disciplines	Volet 1	Volet 2	Volet 3	Volet 4
Equipe 1 (UNC-LIVE)					
• Amir	Ecol. microbienne (MA, bact.)	X	X	X	
• Cavaloc	Bio. moléculaire (MA)		X		
• Fogliani	Biologie végétale (graines)	X	X		
• LeMouellic	Biologie, écologie			X	
• Medevielle	Biologie végétale	X	X		
• Pagand	Hydrologie			X	
Equipe 2 (IRD-LSTM)					
• Ducouso	Ecol. microbienne (ECM)	X	X		
• Hannibal	Bio. moléculaire, microbiologie		X		
• Jourand	Bio. moléculaire, biochimie		X		
• Lebrun	Physio. Végétale (plantes)		X		
• Majorel-Louergue	Bio. moléculaire		X		
Equipe 3 (IAC-CIRAD Axe 2)					
• L'Huillier	Biologie végétale, pédologie	X		X	X
• Maggia	Génétique des populations				X
Equipe 4 (INRA-UHP)					
• Brun-Jacob	Physiologie moléculaire		X		
• Kohler	Biologie moléculaire		X		
• Martin	Ecologie, plantes/microorg.		X		
• Morin	Bioinformatique		X		
Equipe 5 (CNRS-INPL...)					
• Echevarria	Pédologie, biogéochimie	X	X	X	
• Faure	Géochimie		X	X	
• Montargues-Pelletier	Pédologie, biogéochimie			X	
• Quantin	Biogéochimie des sols	X		X	
• Thomas	Pédologie			X	

VI.4. - Qualification du porteur du projet

Hamid AMIR est Professeur, enseignant-chercheur à l'UNC, Directeur du Laboratoire Insulaire du Vivant et de l'Environnement (LIVE), EA 4243.

Il est spécialiste de l'écologie microbienne des sols; notamment des sols miniers sur lesquels il travaille depuis 1993.

Il est également responsable du DEUST "Revégétalisation et Gestion de l'Environnement Minier" à l'UNC, cursus qui forme des techniciens supérieurs dans le domaine de la restauration des sites miniers.

Il a une bonne expérience des sols miniers et a diverses relations avec des entreprises minières et de restauration écologique (notamment des conventions de recherche).

Il a eu l'occasion de connaître d'assez près les travaux réalisés par les Australiens dans ce domaine, puisqu'il a passé 7 mois au "Center for Land Rehabilitation", University of Western Australia. Au cours de ce séjour, il a travaillé avec les chercheurs de ce centre et a visité à plusieurs reprises les essais sur terrains et les zones restaurées par les entreprises minières australiennes.

VII. Proposition budgétaire

Les travaux de recherches proposés intéressant 2 thèmes de 2 axes différents, "Ecomine" (axe Nickel et Environnement naturel) et "Technologies de la restauration" (axe Nickel et Technologie), nous avons séparé le budget en 2 parties.

VII.1. Budget sur EcoMine

UNC	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipements			
Etuve illuminée (pour germination graines)	7 500 €		11 000 €
2 loupes binoculaires (analyses spores MA)	3 500 €		
Fonctionnement			
Petits matériels	10 500 €	12 000 €	51 500 €
Consommables de laboratoire	23 000 €		
Maintenance et entretien d'équipements			
Prestation de service (analyses de sols)	6 000 €		
Missions			
Missions à l'extérieur	8 500 €		13 000 €
Déplacements terrain	4 500 €		
Rémunérations personnels permanents			
25 % ETP Professeur des universités		198 500 €	576 900 €
90 % ETP Maître de conférence		378 400 €	
Rémunérations personnels non permanents			
VCAT: 18 mois	39 000 €		56 500 €
Stagiaires (5X6 mois)	17 500 €		
Totaux	120 000 €	588 900 €	708 900 €
IAC, axe 2	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipements			
Prélèvements, culture pépinière...	5 000 €		5 000 €
Fonctionnement			
Analyses génétiques	37 000 €	20 000 €	81 000 €
Maintenance PFV	3 000 €		
Analyses de sols	15 000 €		
Documentation	6 000 €		
Missions			
Déplacements terrain	15 000 €	20 000 €	35 000 €
Rémunérations personnels permanents			
25% ETP Chercheur		225 000 €	426 000 €
50% ETP collaborateur		201 000 €	
Rémunérations personnels non permanents			
30% ETP Ingénieur	39 000 €	126 000 €	258 000 €
30% ETP doctorant		93 000 €	
18 mois de VCAT			
Totaux	120 000 €	685 000 €	805 000 €
CNRS (FR EST)	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipement			
Bougies poreuses	3 000 €		8 500 €

Pompes, matériel de prélèvement	4 000 €	1 500 €	
Ordinateur portable			
Fonctionnement			
Analyses élémentaires totales	6 000 €	6 000 €	43 500 €
Analyses minéralogiques (DRX), Fractionnement granulométrique, Réalisation lames minces	3 000 €	1 500 €	
Spectrométrie Raman, MEB, MET, XPS, FTIR	7 000 €	3 000 €	
Analyses MO (GC-MS)	3 000 €		
Analyses ICP-MS	3 000 €		
Consommables et produits chimiques	2 000 €	2 000 €	
Fournitures de bureau et reprographie, frais de bibliographie		1 000 €	
Logiciels de modélisation géochimique PHREEQ-C, Hydrus, Chess		6 000 €	
Missions			
Déplacements terrain	27 000 €		30 500 €
Mission synchrotron	2 000 €	1 500 €	
Rémunérations personnels permanents			
25% ETP Enseignant Chercheur (Prof)		63 750 €	272 550 €
20% ETP Enseignant Chercheur (MCF)		27 000 €	
15% ETP Chercheur (DR 1)		46 350 €	
40% ETP Chercheur (CR 1)		79 200 €	
20% ETP Technicien (TR)		21 600 €	
35% ETP Doctorante		34 650 €	
Rémunérations personnels non permanents			
Totaux	60 000 €	295 050 €	355 050 €
IRD (UMR 113 LSTM & UMR 1136 IAM)	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipements			
Ordinateur portable	2 000 €		2 000 €
Fonctionnement			
Produits et consommables de laboratoire	30 000 €		70 000 €
Séquençage	14 000 €		
Analyses génétiques	26 000 €		
Missions			
4 missions d'experts français	18 000 €	12 000 €	30 000 €
Rémunérations personnels permanents			
30% ETP DR		185 400 €	417 600 €
45% ETP IR		142 200 €	
15% ETP MCF		32 400 €	
25% ETP AI		57 600 €	
Rémunérations personnels non permanents			
Stagiaires (6X3 mois)	10 000 €		10 000 €
Totaux	100 000 €	429 600 €	529 600 €
Total Général	400 000 €	1 998 550 €	2 398 550 €

VII.2. Budget sur Technologie de la restauration

UNC	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipements			
Renouvellement système d'arrosage en serre	8 500 €		8 500 €
Fonctionnement			
Produits divers	6 000 €		14 500 €
Petits matériels	7 000 €		
Prestation de service (analyses de sols)	1 500 €		
Missions			
Rémunérations personnels permanents			
25 % ETP Professeur des Universités		198 500 €	198 500 €
Rémunérations personnels non permanents			
Stagiaires (2X6 mois)	7 000 €		7 000 €
Totaux	30 000 €	198 500 €	228 500 €
IAC, axe 2	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipements			
Prélèvements, culture pépinière...	10 000 €		10 000 €
Fonctionnement			
Analyses de sols	10 000 €		10 000 €
Missions			
Déplacements terrain	10 000€		10 000€
Rémunérations personnels permanents			
5% ETP Chercheur		45 000 €	246 000 €
50% ETP collaborateur		201 000 €	
Rémunérations personnels non permanents			
Totaux	30 000 €	246 000€	276 000 €
Siras-Pacifique	Aide demandée CRNT	Autre financement	Montant Global
Equipement			
Matériel laboratoire, culture et jardinerie	13 500 €		19 000 €
Agrandissement capacité pépinière	5 500 €		
Fonctionnement			
Consommables	8 000 €		13 500 €
Locations engins de travaux	3 000 €		
Bibliographie, reprographie	2 500 €		
Missions			
Déplacements terrain	7 500 €		7 500 €
Rémunérations personnels permanents			
25% ETP chercheur		105 000 €	327 000 €
50% ETP technicien		189 000 €	
15% ETP ouvrier		33 000 €	
Rémunérations personnels non permanents			
Totaux	40 000 €	327 000 €	367 000 €
Total Général	100 000 €	771 500 €	871 500 €

VIII. Annexes

VIII.1. Version complète du projet

1. Contexte et positionnement du projet

La Nouvelle-Calédonie possède un environnement exceptionnel, un des plus riches et des plus originaux du monde, et l'un des principaux hot spot de la biodiversité mondiale. Les écosystèmes miniers, qui représentent environ un tiers des surfaces, sont les plus riches, avec un taux d'endémisme végétal supérieur à 75%. Les sols miniers ou ultramafiques, caractérisés par une faible teneur en éléments minéraux essentiels (N, P, K, Ca...) et une forte concentration en divers métaux potentiellement toxiques (Ni, Co, Mn, Fe, Cr), constituent une pression de sélection qui a conduit à une flore extrême, unique et très diversifiée.

L'activité minière, en plein essor en Nouvelle-Calédonie, nécessite le décapage des sols afin d'accéder au minerai (saprolites et latérites). Jusqu'à présent, les sols de surface (topsoils) ont fait l'objet de peu d'attention et ne sont généralement pas réutilisés pour la restauration écologique des terrains miniers après exploitation, comme cela se fait dans d'autres pays comme l'Australie. Cette pratique apparaît pourtant essentielle à la bonne réhabilitation de ces surfaces ; ce point a été particulièrement souligné au cours du colloque sur la restauration écologique qui s'est tenu à Nouméa en 2003. La bonne gestion des topsoils est un aspect important de la réussite de la revégétalisation. En effet, ces sols contiennent non seulement les éléments minéraux nécessaires aux plantes, mais aussi un stock de graines des espèces locales, les microorganismes symbiotes de plantes, bactéries et champignons, ainsi que la matière organique dont les microorganismes ont besoin.

Le fonctionnement de ces sols, à la fois sur les plans physico-chimique, biologique et microbiologique, a fait l'objet de peu d'études ; pourtant de telles données sont essentielles pour la réhabilitation des écosystèmes dégradés. Les champignons symbiotes de plantes ou mycorhiziens, méritent une attention particulière en raison de leur rôle important dans l'adaptation et le développement des plantes dans ces écosystèmes (Amir, 2003 ; Perrier *et al.*, 2006).

Le projet proposé ici est centré sur l'étude du fonctionnement des topsoils, dans une perspective essentiellement appliquée. Des expérimentations en serre et sur terrain sont proposées ; elles visent notamment à :

- mieux caractériser les potentialités du topsoil, en termes de réserves séminales, et d'activité microbienne,
- déterminer les modalités générales de sa conservation et de sa réutilisation pour la réhabilitation des sites miniers, grâce notamment au suivi de son évolution après décapage,
- optimiser l'utilisation des champignons mycorhiziens présents ou par inoculation,
- suivre le devenir des métaux potentiellement toxiques et de la matière organique avant et après la remise en place du topsoil.

Une connaissance minimale de la biodiversité des champignons mycorhiziens et de leur mode d'adaptation reste un préalable à leur gestion optimale et est donc proposée comme base scientifique générale aux expérimentations de serre et de terrain.

Enfin, une des difficultés de la restauration écologique est de conserver le plus de biodiversité génétique possible. La flore des maquis miniers reste très peu connue dans ce sens (Pillon, 2008). C'est dans cette perspective qu'une étude sur la diversité génétique et la dynamique

spatiale des espèces abordées dans ce projet est proposée à titre de modèle. Les applications de ce type d'étude concernent à la fois la conservation des plantes rares et des écosystèmes menacés, mais aussi les modalités de définition des espèces à utiliser pour la revégétalisation, ainsi que la problématique des corridors écologiques. Ce dernier concept, qui définit des périmètres minimaux de maquis ou de forêts à protéger au sein des zones d'exploitation minière, afin de garantir la conservation de la biodiversité génétique de chaque zone, nécessite des données génétiques sur les principales espèces présentes.

Quatre genres végétaux, tous indiqués pour la revégétalisation des terrains miniers dégradés, seront utilisés dans les différentes expérimentations : *Tristaniopsis* (Myrtaceae), *Alphitonia* (Rhamnaceae), *Scaevola* (Goodeniaceae) et *Costularia* (Cyperaceae).

Le projet comporte les 4 volets suivants :

- 1- Caractérisation du topsoil et de son évolution pendant son stockage avec suivi :
 - du potentiel séminal
 - du potentiel mycorhizogène
 - de l'activité microbienne
 - de la dynamique des métaux en relation avec l'activité microbienne
- 2- Connaissance et utilisation des champignons mycorhiziens avec :
 - Un complément d'étude sur la diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules (MA) et ectomycorhiziens (ECM) dans les sols miniers, ainsi que la caractérisation de gènes d'adaptation chez un champignon ECM.
 - Une expérimentation en serre sur le potentiel ectomycorhizien de topsoils avec des plants de *Tristaniopsis*.
 - Une expérimentation sur terrain sur les effets d'apports d'inoculum mycorhiziens sur des plants du genre *Tristaniopsis*.
 - Une expérimentation en serre sur les effets de différentes doses d'engrais phosphatés sur l'endomycorhization et la croissance de plants de *Costularia comosa* inoculés en champignons MA.
 - Une expérimentation sur l'enrobage de graines prégermées d'*Alphitonia neocaledonica* avec des spores endomycorhiziennes, en vue de leur utilisation en hydroseeding.
- 3- L'étude de la dynamique des métaux potentiellement toxiques et du devenir de la matière organique et de quelques éléments minéraux, couplée aux expérimentations sur terrain (conservation du topsoil et essais de mycorhization).
- 4- L'étude de la diversité génétique de quelques espèces de *Tristaniopsis* et *Scaevola* dans une perspective de conservation et de restauration des milieux.

Chacun de ces 4 volets reprend globalement le plan proposé dans l'appel d'offre, à l'exception des parties communes (calendriers, coordination, etc.) qui sont regroupées à la fin du texte.

Le projet fait intervenir six équipes possédant des compétences et des spécialités complémentaires, afin d'aborder les divers aspects de la problématique du topsoil et de la diversité génétique, dans une perspective de gestion des milieux et de leur restauration.

Certaines études proposées concernent, non seulement le thème "Ecomine", mais aussi le thème "Technologies de la restauration", c'est pourquoi le tableau de financement proposé est divisé en une partie "Ecomine" et une partie "Technologie de la restauration"

2. Volet 1- Caractérisation du topsoil et de son évolution pendant son stockage en mine

2.1. Description scientifique et technique du projet

2.1.1. Etat de l'art

La définition d'un topsoil est un sujet de discussion qui fait l'objet de plusieurs réponses possibles selon les caractéristiques qui sont prises en compte. Les chercheurs en science du sol ont tendance à l'assimiler à l'horizon A, c'est-à-dire l'horizon où la matière organique et la fraction minérale sont intimement liées. D'autres utilisent ce terme en référence à tout horizon qui peut soutenir la croissance d'une plante, ce qui peut paraître imprécis. La présence de graines dans les couches supérieures, voire de racines à des épaisseurs de sol plus ou moins importantes et la microflore active associée sont autant d'éléments qui peuvent également être pris en compte pour la définition d'un topsoil. Dans ce contexte, l'horizon sous-jacent (« subsoil » en anglais) est souvent étudié en même temps que le topsoil et il fait l'objet de recommandations de gestion qui portent sur ces deux substrats.

Les topsoils sont des sources importantes de graines, de propagules et de microorganismes, et pour certaines plantes ils constituent la seule réserve de propagules à partir desquelles une espèce pourra s'installer après exploitation minière. Ward *et al* (1996) ont ainsi montré dans le sud ouest australien (forêt de Jarrah, mines Alcoa) que 72 % des espèces qui se sont réimplantées provenaient du topsoil. Les autres espèces étaient dépendantes de graines semées ou disséminées pour leur réimplantation.

Toutefois les topsoils ne semblent pas tous présenter les mêmes caractéristiques qualitatives et quantitatives. La quantité de graines stockée dans un topsoil peut ainsi varier considérablement en fonction du type de formation végétale et de milieu, de 0 à plus de 10 000 graines m⁻² selon diverses études, avec une diversité spécifique qui peut également varier fortement de 0 à plus de 130 espèces végétales.

La composition spécifique de la banque de graines viables du topsoil est un indicateur de la capacité de régénération d'une communauté végétale, et peut fournir une information sur la composition floristique initiale et future ainsi que sur les schémas de succession.

La profondeur d'enfouissement de la banque de graines dans le sol est un facteur clé à prendre en compte pour optimiser l'installation des graines. Il est aujourd'hui reconnu que la taille des graines ainsi que leur ratio surface/volume joue un rôle essentiel dans leur distribution verticale. Plusieurs études *ex situ* sur la distribution des graines stockées dans le profil du sol ont montré qu'elles étaient trouvées majoritairement dans les premiers 10 cm. Il a même été observé dans ces 10 cm que 93 % des graines étaient présentes dans les 2 cm supérieurs. L'intégration progressive dans les couches sous-entend que dans les plus profondes se retrouvent majoritairement les graines les plus vieilles et dont la viabilité est donc potentiellement la moins importante. Cependant, cette viabilité est étroitement liée à la structure même de la graine. Ainsi, sa taille, sa forme, la structure de son tégument, la composition de ses réserves séminales, sa physiologie sont autant d'éléments qui jouent un rôle dans sa longévité. Outre la longévité en milieu naturel, ces caractéristiques permettent de proposer *ex-situ* et dans des conditions contrôlées (température, humidité...), les modes de conservation les plus idéaux. Dans les conditions naturelles, il est rare que les conditions d'humidité, d'oxygénation, de température soient stables, bien au contraire. Cela induit donc un

vieillessement plus rapide des graines réduisant d'autant leur longévité. Ceci se caractérise par exemple par une dégradation des réserves séminales essentielles au moment de la germination provoquant même si la germination *stricto sensu* a eu lieu, la mort de la jeune plantule inapte à se développer dans ces conditions. Il a été noté chez les graines de maquis miniers une tendance à une richesse en lipides au sein des réserves (Zongo *et al.*, 2008). La composition même de ces lipides en acides gras, pour certains rares, révèlent une prédominance d'acides gras insaturés sensibles à l'oxydation. Cette particularité semble jouer un rôle essentiel dans leur conservation et leur longévité.

Il semble également important de prendre en compte l'impact de la saison où le topsoil est prélevé et épandu. Roche *et al* (1998) ont observé de grandes disparités dans les recrutements de jeunes pousses entre des opérations faites au printemps et en automne. Le stockage en tas des topsoil pendant plusieurs mois a également un effet dépressif sur le nombre de germinations et la survie des microorganismes symbiotiques.

Les processus germinatifs des graines ou le moyen optimal de les conserver sont généralement appréhendés au travers d'expériences menées dans des conditions contrôlées ou semi-contrôlées en laboratoire. S'il est évident que ces données ont permis de mieux appréhender ces processus, il est apparu tout aussi évident que la mise en corrélation avec les conditions naturelles devenait essentielle. C'est pourquoi depuis plusieurs années, les chercheurs qui se consacrent à l'étude des semences tentent de se rapprocher au plus près des conditions naturelles, dans les expérimentations, depuis la collecte jusqu'à la germination en passant par le mode de stockage des graines. Plus encore, l'étude *in situ* est de plus en plus répandue (Baskin *et al.*, 1989).

Les travaux menés dans ce domaine en Nouvelle-Calédonie sont quasi inexistantes. Jusqu'à présent et dans le cadre de l'optimisation de la restauration écologique des terrains miniers dégradés, les recherches se sont attachées dans des conditions de laboratoire à rechercher empiriquement le moyen de faire germer les graines par des actions diverses comme la scarification et la stratification (Fogliani *et al.*, 2004). Cependant, la mise en relation des ces résultats avec les conditions naturelles reste encore aujourd'hui trop rare. Il apparaît essentiel à ce stade de la recherche sur les graines que ces relations soient établies, avec comme objectif de valoriser au mieux le top soil. Quelques études ont démarré sur ce sujet récemment (L'Huillier 2007). Elles ont montré l'extrême variabilité dans la réponse des topsoils en termes de germinations selon leur milieu et les formations végétales en place, l'importance des cypéracées, ou encore l'émergence d'espèces présentant pourtant des dormances profondes très difficiles à lever en conditions de laboratoire, notamment de la famille des Ericaceae (*Dracophyllum*, *Styphelia*).

Les microorganismes symbiotes jouent un rôle fondamental dans le développement et l'adaptation au milieu de la plupart des espèces végétales. Parmi eux les champignons mycorhiziens sont présents dans le topsoil sous forme essentiellement de spores de conservation pour les MA et de diverses propagules plus ou moins actives pour les ECM. Les sols miniers actifs sont relativement riche en champignons mycorhiziens (Perrier *et al.*, 2006) ; mais le stockage des topsoils a un effet dépressif sur la survie de ces symbiotes (Jasper *et al.*, 1989), effet d'autant plus important que le stockage est long. En Nouvelle-Calédonie, aucune étude n'a été réalisée dans ce sens, pour déterminer à partir de quel temps de stockage, le topsoil perdait l'essentiel de son potentiel mycorhizogène.

L'activité microbienne globale est directement corrélée à la fertilité du sol et est souvent utilisée comme indicateur de la réussite d'une action de restauration (Jasper, 1994). Toutefois, certaines bactéries du sol interviennent dans la libération de métaux qui peuvent se révéler toxiques (Quantin *et al.*, 2002; Amir et Pineau, 2003). On ne sait pas encore si le stockage du topsoil favorise

la libération de certains métaux toxiques, notamment lorsqu'il est stocké dans des conditions de faible aération, propices à ce type de bactéries. Une telle étude peut également apporter des indications sur les risques de transfert de métaux toxiques dans d'autres écosystèmes par les ruissellements. Cette partie étant fortement liée au volet 3 du projet, l'état de l'art est développé plus amplement dans ce volet.

2.1.2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

Si des expériences concernant la caractérisation et l'évolution de topsoils stockés, après décapage, ont été réalisées dans d'autres pays, notamment en Australie, les résultats ne sont pas extrapolables à la Nouvelle-Calédonie, car les sols néocalédoniens et la flore associée possèdent des caractéristiques très différentes. Or nous n'avons que très peu de données sur les modalités optimales de conservation et de gestion des topsoils en Nouvelle-Calédonie.

Le volet 1 de ce projet propose à la fois une expérimentation sur le terrain, des travaux de recherche *in situ* et des expérimentations en serre et au laboratoire concernant le stockage et la gestion du topsoil, après caractérisation de son état avant décapage. Des études sur d'autres sites (sans parcelles expérimentales) seront également réalisées pour permettre de généraliser les principaux résultats. Les facteurs déterminant la qualité du sol seront caractérisés et suivis pendant 3 ans :

- **Banque de graine et potentiel séminal** : il s'agit de caractériser les banques de graines des topsoils sur un plan quantitatif, qualitatif et évolutif. Des travaux de terrain porteront sur l'analyse de topsoils en place : diversité et densité des graines en relation avec les formations végétales et selon diverses situations écologiques, caractéristiques germinatives, distribution le long du profil, caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (notamment microbiologiques) des sols susceptibles de conditionner le fonctionnement de la banque de graine. En outre, une approche sur l'évolution des ces caractéristiques sera développée à partir du suivi de topsoils stockés sur le terrain.

Un objectif spécifique de cette tâche est d'appréhender la conservation et la longévité de ces semences que ce soit en condition naturelle ou en condition de laboratoire avec une évidente interrelation entre les deux. Cette étude est envisagée sur 4 espèces pionnières étudiées dans ce projet, à savoir *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae), *Tristanopsis guillainii* (Myrtaceae), *Scaevola montana* (Goodeniaceae) et *Costularia comosa* (Cyperaceae). Leurs caractéristiques physiques et physiologiques propres permettent de couvrir un panel de dormances varié. Des données existent d'ores et déjà sur la germination de ces semences en laboratoire. A l'inverse, peu de renseignements sont connus sur leur mode de conservation. Plus encore, aucune donnée n'existe sur leur longévité au sein du top soil. Les études qui seront réalisées *in situ* conduiront à estimer le temps et le mode raisonnable de stockage du topsoil avant que sa banque de graines ne perde sa capacité à germer sans apport de nouvelles graines (profondeur de stockage des graines et longévité maximum).

- **Potentiel mycorhizogène** : les champignons mycorhiziens existent dans le sol sous forme de propagules plus ou moins viables, spores et mycélium. Lors du stockage du topsoil, ces propagules peuvent survivre pendant un temps limité dont la détermination conditionnera les modalités de sa gestion. Après caractérisation du topsoil en place, un suivi de la densité en spores MA viables tout au long du stockage sera effectué. Le potentiel mycorhizogène sera aussi suivi, à la fois pour les champignons MA et ECM, par l'aptitude du topsoil à produire des endomycorhizes ou des ectomycorhizes sur des plantes pièges.

- **Activité microbienne et fertilité** : l'activité microbienne du topsoil sera déterminée, puis suivie tout au long du stockage par dosage de l'ATP. Ce paramètre indique l'aptitude du sol à minéraliser la matière organique présente ou arrivant dans le milieu, aboutissant à la production des éléments minéraux essentiels pour la nutrition des plantes. Cette activité sera par ailleurs corrélée à la spéciation des métaux toxiques (Ni, Co).

- **Spéciation et disponibilité des métaux** : l'analyse de la dynamique des métaux susceptibles de produire une certaine toxicité est utile pour comprendre si le stockage du topsoil augmente cette toxicité, notamment lorsqu'il est stocké en amas peu aéré, favorable à l'activité de réduction bactérienne intervenant dans la libération des métaux. Ces phénomènes sont peu connus pour Ni et Co et ont donc un intérêt scientifique important. Cette partie est fortement liée aux volets 3 de ce projet, à la fois sur le plan méthodologique et pour l'analyse des résultats.

2.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet

2.2.1. Programme scientifique et organisation du projet

Le volet 1 est organisé autour :

- d'une expérimentation sur le terrain comportant une parcelle témoin non décapée et un périmètre où seront stockés des topsoils provenant de zones récemment décapées par l'activité minière.
- De l'étude, en serre et *in situ*, de topsoils d'autres stations qui seront également analysés pour compléter les données de cette expérimentation.

Les principales tâches de ce volet sont les suivantes :

- **Tâche 1** : Caractérisation de la banque de graines des topsoils, de leur potentiel séminal, de leur diversité et de leur évolution sur les parcelles expérimentales, en conditions naturelles comparées aux différentes conditions de stockage. Un suivi sur 3 ans de ces paramètres sera réalisé. Des expérimentations comparatives porteront également sur la conservation des graines dans les topsoils en mettant l'accent sur 4 espèces pionnières des milieux ultramafiques néo-calédoniens, par des études en laboratoire (caractérisation de la structure externe et interne des semences, étude de leurs réserves séminales et de leur mode de conservation) et des études de terrain (suivi de la capacité germinative des semences en milieu naturel au cours du temps en fonction des facteurs abiotiques et biotiques relevés ; estimation de la longévité des graines en fonction de la profondeur d'enfouissement).

- **Tâche 2** : Approche descriptive et fonctionnelle. Les mêmes paramètres qu'en tâche 1 seront étudiés sur des topsoils de différents autres sites afin d'étudier la diversité des comportements des topsoils, en mettant l'accent sur les relations avec la végétation en place de façon à améliorer nos connaissances du fonctionnement des milieux au niveau de la dispersion des semences et de la régénération d'une communauté végétale.

- **Tâche 3** : Caractérisation puis suivi périodique (tous les 4-6 mois sur 3 ans) du potentiel mycorrhizogène des topsoils, avec mesure du nombre de spores MA viables et détermination du potentiel par mycorhization de plantes pièges.

- **Tâche 4** : Mesure de l'activité microbienne des topsoils et suivi régulier sur 3 ans de cette activité selon les différentes conditions de stockage (sol superficiel ou profond, épandu ou stocké en tas). Parallèlement, un suivi des différentes fractions des principaux métaux (Ni, Co, Mn, Cr, Fe, Mg) sera effectué et les résultats seront mis en corrélation avec les activités microbiennes et avec

les autres caractéristiques des sols (aération, taux de matière organique...).

- **Tâche 5** : Synthèse et évaluation de méthodes de gestion du topsoil. Les pratiques pouvant être mises en œuvre par les mineurs feront l'objet de recommandations précises.

2.2.2. Description des travaux

Afin de définir des méthodes optimales de gestion du topsoil, des expérimentations sur le terrain et en serre seront mises en place, permettant d'apprécier la réponse du topsoil à divers traitements. Une expérimentation sur la conservation du topsoil sera mise en place avec 3 modalités : une parcelle témoin représentative de la diversité végétale naturelle de la zone, un topsoil de la même zone, récemment décapée, stocké en tas, un topsoil de la même zone stocké épandu en couche de 40-50 cm.

- **Tâche1** : *Conservation de la banque de graines.*

Elle est organisée en plusieurs sous-tâches :

* **Sous-tâche 1 : Suivi des graines *in situ*.**

Les réponses des graines aux manipulations *in situ* seront évaluées, ainsi que les réponses au stockage selon différentes techniques *in situ* (en tas, à plat, transfert direct) et selon la durée de stockage. Un suivi régulier sur 3 ans de la banque de graines et du potentiel séminal des topsoils stockés sera réalisé. Des semis d'espèces natives, notamment de cypéracées (ainsi que *Alphitonia neocaledonica*, *Tristaniopsis guillanii*, et *Scaevola montana*), seront réalisés sur différents substrats, dont le topsoil, afin notamment de comparer le comportement de ces graines semées avec celui des graines naturellement présentes dans la réserve de graines du topsoil, et avec celui des graines mises à germer en conditions contrôlées. Des expérimentations de prélèvement et d'épandage de topsoil à différentes épaisseurs seront mises en place afin d'évaluer les épaisseurs optimales à prendre en compte pour la gestion d'un topsoil. L'effet de la saison pour l'épandage du topsoil sera également étudié. Enfin l'intérêt de prélever et d'épandre le « subsoil », en complément et sous la couche d'épandage du topsoil, sera évalué, notamment en regard de l'apport de mycorhizes et de matières organiques que ce substrat est susceptible de fournir.

Les effets d'apports de nutriments et de matières organiques (Boues STEP notamment), ainsi que d'autres observations seront également étudiés sur ces dispositifs expérimentaux (détails au volet 3).

* **Sous-tâche 2 : Conservation en conditions contrôlées *ex-situ* des semences par études de leurs caractéristiques propres.**

A partir de graines collectées lors de l'année *n* sur les parcelles communes au groupe de travail avant décapage et/ou dans la zone environnante, les études de caractérisation de ces dernières seront menées. Cela passera par l'observation de leurs caractéristiques externe et interne par macro et microscopie. Mais aussi par l'analyse de la composition brute de leurs réserves séminales : glucides, lipides, protides puis par l'analyse plus fine de chacun de ces groupes de métabolites en particulier de la composition en acide gras des dits lipides. Ces données mises en relation avec le caractère orthodoxe ou récalcitrant des semences permettront d'envisager les expériences de conservation en conditions contrôlées de température (température ambiante, 5°C, 15°C) et d'humidité (5% ou 12% d'humidité relative) pendant les années *n+1* et *n+2*. A intervalle de temps régulier, la viabilité des graines ainsi que leur capacité à germer sera étudiée selon des

méthodes préétablies.

Par ailleurs, des expérimentations de vieillissement accéléré seront menées avec pour objectif d'établir l'impact sur les caractéristiques des graines, en particulier la détérioration des constituants des réserves séminales qui jouent un rôle essentiel au moment de la croissance de la jeune plantule.

Les données obtenues seront mises en relation avec celles obtenues dans les conditions naturelles.

*** Sous-tâche 3 : Etude de la longévité des graines *in-situ*.**

En utilisant les parcelles expérimentales qui seront mises en place pour l'étude du topsoil, les graines collectées à l'année n seront enfouies à des profondeurs plus ou moins grandes (2, 5 et 10 cm) dans des sachets en nylon. A des intervalles de temps réguliers, des sachets seront récupérés. La viabilité des graines et leur capacité à germer seront analysées. Les caractéristiques physiques voire physiologiques de ces dernières seront également relevées. L'objectif étant d'estimer en fonction de la profondeur d'enfouissement et du temps passé, la longévité de ces graines. La compréhension de la perte de leur viabilité sera étroitement liée aux données climatiques de la zone mais aussi aux résultats obtenus en laboratoire. C'est ainsi un pan des adaptations mis en place par les végétaux des milieux ultramafiques au niveau de leur graine qui devrait être éclairci.

- Tâche 2 : Approche descriptive et fonctionnelle *in et ex situ*.

Des études détaillées porteront sur plusieurs stations de conditions pédoclimatiques et de compositions floristiques différentes. Au moins 4 stations différentes seront positionnées, avec au moins 6 réplicats dans chacune des stations (un réplicat étant constitué de plusieurs prélèvements d'environ 500 cm² proches les uns des autres).

La densité, la diversité et les caractéristiques de la banque de graines des topsoils en place seront déterminées, avec une attention particulière vis à vis des Cypéracées pionnières. Ces déterminations seront faites sur plusieurs épaisseurs (environ tous les 2 cm), afin de caractériser la distribution des graines dans le profil. Parallèlement, les échantillons de sol en place seront soumis à des analyses physico-chimiques (notamment texture, teneurs en matière organique, C, N et P assimilable) et à des déterminations biologiques et microbiologiques sur des échantillons frais, afin d'analyser les relations entre ces paramètres et les graines stockées. La composition floristique des formations en place sera déterminée selon la méthode Braun-Blanquet, ainsi que le stade phénologique de chaque espèce au moment des prélèvements, afin d'apprécier les relations entre les réserves de graines du topsoil et les formations en place, d'évaluer le fonctionnement du milieu en terme de successions et le potentiel du topsoil pour la restauration d'un site dégradé. L'ensemble de ces caractérisations sera fait sur au moins deux saisons différentes afin d'évaluer leur influence sur ces paramètres. A partir de prélèvements de topsoils en place, le suivi des dynamiques germinatives et des associations mycorhiziennes sera réalisé en conditions contrôlées, sous serre avec un arrosage régulier et à une température minimum de 20°C, pendant au moins 12 mois. Une expérimentation sur le terrain sera également mise en place pour comparer la réponse du topsoil en place par rapport aux conditions contrôlées. En outre une évaluation *in situ* portera sur la part et le rôle que représentent les repousses de jeunes plants issus de multiplication végétative à partir de fragments de végétaux contenus dans le topsoil.

L'ensemble des ces données devront participer à la définition de ce que représente un topsoil, et à la proposition d'indicateurs de qualité. Des indicateurs pouvant être utilisés rapidement

sur le terrain, ou mis en œuvre à moindre coût, seront particulièrement recherchés.

- Tâche 3 : Caractérisation et suivi du potentiel mycorhizogène des topsoils.

Un suivi du potentiel mycorhizogène des topsoils de l'expérimentation sur terrain, ainsi que d'autres sites sera réalisé. Deux types de mesures seront effectuées :

- Estimation périodique de la densité des spores MA par la technique de tamisage, centrifugation sur une bicouche eau-saccharose, puis comptage des spores viables à la loupe binoculaire.
- Estimation du potentiel mycorhizogène MA et ECM des sols prélevés sur terrain, par culture en serre de plants d'espèces végétales à affinité MA ou ECM, Les plants seront prélevés après un an de culture. L'abondance des racines ectomycorhizées sera déterminée par observation à la loupe binoculaire. L'intensité de la mycorhization MA sera estimée au microscope, après coloration des racines au bleu Trypan.

Ces mesures seront réalisées périodiquement (tous les 4 mois la première année, puis tous les 6 mois) pendant 3 ans. Des prélèvements seront effectués à différentes profondeurs et à différents points afin de vérifier si le mode de stockage (en tas ou épandu) influe sur la survie des propagules fongiques mycorhiziennes.

- Tâche 4 : Mesure de l'activité microbienne des topsoils et suivi des métaux.

Un échantillonnage régulier des sols (comme pour la tâche 3) sera réalisé et l'activité microbienne sera suivie par dosage de l'ATP par la technique de bioluminescence. Cette technique permet de mesurer la biomasse microbienne active et donne donc une indication sur l'état de fertilité des sols. Des essais de standardisation pour utiliser cette technique comme indicateur de réussite de la restauration écologique seront effectués. Le dosage des métaux extractibles au DTPA (Ni, Co, Cr, Mn, Fe, Mg) sera réalisé en prestation de service (laboratoire de chimie analytique de l'IRD-Nouméa). Des dosages des principales fractions (soluble, associée à la matière organique, associée aux oxydes et résiduelle) seront effectuées pour certains échantillons (en relation avec le volet 3), afin de permettre une interprétation précise des effets des bactéries sur la spéciation des métaux.

- Tâche 5 : synthèse des tâches 1 à 4.

Cette tâche, consiste d'abord en une synthèse de l'ensemble des résultats de ce volet. Les liens existant entre l'état des graines et leur dynamique, l'état des champignons mycorhiziens et leur dynamique, l'activité microbienne et les teneurs en différentes fractions métalliques seront étudiés. Une comparaison des états de stockage du topsoil, en fonction du temps, sera ainsi finalisée. Enfin, des recommandations précises sur la gestion des topsoils seront préconisées.

3. Volet 2- Connaissance et utilisation des champignons mycorhiziens

3.1. Description scientifique et technique du projet

3.1.1. Etat de l'art

Les symbioses mycorhiziennes jouent un rôle particulièrement important dans les milieux pauvres en raison de leur contribution à l'apport d'éléments minéraux à la plante. Ils interviennent aussi dans l'adaptation des plantes au stress hydrique et aux fortes concentrations en métaux lourds. Pourtant très peu d'études ont été réalisées sur l'importance et le rôle des mycorhizes en milieu ultramafique (Turnau *et al.* ; 2003 ; Perrier *et al.*, 2006 ; Amir *et al.*, 2007). Il s'agit donc d'un domaine d'un intérêt scientifique certain, d'autant plus qu'il constitue un modèle idéal pour l'étude des mécanismes d'adaptation des êtres vivants aux milieux métallifères. Nos travaux en cours, montrent que la quasi-totalité des espèces végétales sont associées à des champignons mycorhiziens en milieu minier néocalédonien.

La diversité des champignons mycorhiziens des sols ultramafiques de Nouvelle-Calédonie est encore peu connue. Perrier (2005) a mis en évidence un nombre important d'espèces de champignons ECM, dont plusieurs sont nouvelles, mais ce travail reste à compléter. Quant aux champignons MA, si l'on sait que le genre *Glomus* est dominant, l'étude de leur diversité est à ses débuts. Compléter ces études est essentiel à la fois pour la préservation de la biodiversité fongique et végétale, mais aussi pour une meilleure gestion des processus de mycorhization dans les pratiques de revégétalisation, en utilisant le potentiel mycorhizogène de façon optimale.

Des études récentes montrent que la combinaison d'espèces végétales locales avec des champignons mycorhiziens offrent les meilleurs résultats pour la revégétalisation de sites dégradés (Chen *et al.*, 2008; Amir et Lagrange, 2008). Il est important d'utiliser des souches mycorhiziennes isolées à partir de sols ultramafiques calédoniens, lesquelles présentent une forte tolérance au nickel (Amir *et al.*, 2008, Jourand *et al.*, soumis). Alors que des inoculums mycorhiziens du commerce sont peu tolérants aux métaux et donc inadaptés aux sols ultramafiques.

Les expérimentations réalisées dans ce volet concernent 3 des 4 genres choisis dans ce projet : *Tristaniopsis*, dont l'intérêt a été souligné précédemment, *Costularia* et *Alphitonia*.

Les espèces du genre *Tristaniopsis* sont omniprésentes dans les maquis miniers de basse et moyenne altitude de Nouvelle-Calédonie. Le caractère grégaire de ces espèces est lié à leur capacité à former des ectomycorhizes avec des champignons supérieurs comme les russules, les amanites, les théléphores, les laccaires, les pisolithes... Depuis la mise en évidence de cette symbiose (Perrier *et al.*, 2006), des prospections ont été régulièrement menées afin de compléter nos connaissances de ces champignons (ANR-NiKo et ANR-Ultrabio). Des travaux ont également été menés afin d'identifier directement au niveau des ectomycorhizes prélevées *in situ*, les couples plantes-champignons. Ainsi, une diversité importante de champignons ectomycorhiziens a été décrite sans pour autant que l'on puisse appréhender le rôle de cette biodiversité dans l'établissement et le fonctionnement des *Tristaniopsis* et des peuplements qu'ils forment. Une espèce de champignon, *Pisolithus albus* a particulièrement retenu l'attention des chercheurs. En effet, les espèces de ce genre, aisément manipulable au laboratoire ont déjà fait leurs preuves dans des essais d'inoculation depuis plus de 40 ans (Hacskeylo et Vozzo, 1967), de plus, cette espèce est présente, voire mono-dominante dans les zones de maquis dégradé par des activités humaines ou dans des zones en cours de recolonisation par les *Tristaniopsis*. Des essais au laboratoire ont permis de constater l'extrême tolérance au nickel des souches de *Pisolithus albus* provenant des maquis miniers ($IC_{50} > 1,7\text{mM}$

de Ni ; Jourand *et al.*, soumis). Ces souches associées à *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) permettent d'accroître la tolérance au Nickel des couples symbiotiques et contribuent ainsi à l'adaptation de la plante à une contrainte environnementale majeure.

La toxicité exercée par le nickel et d'autres métaux lourds dans les sols ultramafiques est un facteur important et général de l'adaptation des plantes associées à ces milieux. Ces métaux n'ont soit aucun rôle physiologique et sont strictement toxiques, soit, comme le nickel, ils sont nécessaires à très faibles doses, et leur excès est délétère pour la croissance des organismes. Cependant, la contrainte exercée par les sols ultramafiques ne peut se résumer à la toxicité du nickel et les organismes doivent de plus s'adapter à des déséquilibres minéraux et/ou des carences de macroéléments particulièrement défavorables à leur croissance. La faible teneur en calcium et l'excès compétitif de magnésium, les très faibles teneurs en potassium, phosphate et en azote et l'excès de nickel sont 4 facteurs qui semblent majeurs pour l'adaptation des plantes en milieu ultramafique (Kazakou *et al.*, 2008). La caractérisation de l'expression des gènes fongiques liés à la tolérance aux métaux et au prélèvement des macronutriments dans les sols ultramafiques, est une donnée indispensable pour identifier des indicateurs de l'activité mycorhizienne, en particulier pour le suivi de l'établissement des communautés fongiques lors de l'utilisation de topsoils pour la restauration. Des données bibliographiques récentes ont mis en évidence de façon fragmentaire l'importance de l'expression de gènes dans l'adaptation d'ectomycorhize au « syndrome serpentinique ». L'effet protecteur des champignons ectomycorhiziens exercé sur la plante vis-à-vis de la toxicité du nickel provient vraisemblablement de leur capacité à complexer ce métal dans le sol et/ou à le stocker dans les parois et les vacuoles, réduisant ainsi le transfert du nickel du sol vers la plante. Des analyses partielles du génome transcrit ont mis en évidence quelques gènes dont l'expression semble liée à la présence du métal (Bellion *et al.*, 2006). La très faible concentration de l'orthophosphate, ainsi que sa séquestration par les cations rend la disponibilité de cet élément très faible, voire quasi nulle dans les sols de maquis miniers (Dubus et Becquer, 2001). L'importance de la symbiose endo et ecto-mycorhizienne dans la nutrition azotée, phosphatée et potassique des plantes a été largement décrite (Marschner, 1995). Cependant, les mécanismes moléculaires mis en jeu demeurent très peu connus. La caractérisation récente de deux transporteurs de phosphate d'*Hebeloma cylindrosporum*, potentiellement impliqués dans l'acquisition du phosphate par *Pinus pinaster* est une avancée notable dans la caractérisation des mécanismes moléculaires de prélèvement du phosphate par une plante ectomycorhizée (Tatry *et al.*, 2009). De même, l'identification fonctionnelle de transporteurs d'ammonium à haute affinité et plus récemment d'un transporteur $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ d'*H. cylindrosporum* a permis de mettre en évidence un mécanisme moléculaire potentiel du transport de l'ammonium et du potassium à haute affinité par les ectomycorhizes dans des sols pauvres (Javelle *et al.*, 2001, 2003; Corratgé *et al.*, 2007). Deux avancées, scientifique et technologique : (i) le séquençage du premier génome d'un champignon ectomycorhizien, *Laccaria bicolor* (Martin *et al.*, 2008) et (ii) l'accès en routine aux nouvelles méthodes de séquençage permettant l'analyse massive et exhaustive des génomes (pour une revue récente voir McLean *et al.*, 2009) créées les conditions pour une avancée majeure et novatrice dans la caractérisation de gènes importants dans l'adaptation des ectomycorhizes aux conditions extrêmes des sols ultramafiques.

Les Cypéracées constituent la seule state herbacée des maquis miniers. Parmi elles, le genre *Costularia* est un des plus adaptés, comportant des plantes pionnières que l'on retrouve en premier parmi celles qui recolonisent les terrains miniers dégradés. Une étude récente (Lagrange *et al.*,

soumis; Lagrange, thèse en cours de rédaction), montre que ces plantes classiquement considérées comme non mycorhiziennes, sont associées à des champignons MA dans les maquis miniers néocalédoniens et que leur degré de mycorhization augmentait avec un apport modéré de phosphore. Cette association hors norme est probablement le résultat d'une adaptation à l'environnement pauvre et toxique. Ces résultats, qui ont un intérêt pratique, méritent un approfondissement.

L'espèce *Alphitonia neocaledonica*, particulièrement abondante dans la plupart des maquis miniers est fréquemment utilisée en revégétalisation, aussi bien en plantation que par la technique d'hydroseeding. Des expériences en serre ont démontré que l'apport de champignons MA stimulait sa croissance et augmentait sa tolérance aux nickel (Amir et Lagrange, 2008).

Les études de ce volet comportent :

- *Un complément d'inventaire de biodiversité des champignons mycorhiziens*
- *La recherche de gène d'adaptation au milieu ultramafique*
- *des expérimentations de mycorhization en serre*
- *Une expérimentation de mycorhization sur le terrain*

3.1.2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

- **Tâche 1 :** *Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique*

L'objectif général de cette action est d'obtenir des informations scientifiques pertinentes pour permettre une gestion optimale de la diversité des symbiotes fongiques dans la restauration écologique des terrains miniers dégradés.

Très peu de données sont disponibles sur les espèces endomycorhiziennes présentes dans les sols ultramafiques néo-calédoniens. Nous proposons d'isoler et de caractériser les espèces indigènes de champignons afin de mettre en évidence les meilleurs couples plante/symbiote et de proposer les meilleurs candidats pour la revégétalisation.

L'étude sur les champignons ECM vise à évaluer l'importance de la biodiversité des champignons ectomycorhiziens et à se doter d'indicateurs moléculaires de leur adaptation et de leur fonctionnement afin de proposer des solutions innovantes pour la gestion de la biodiversité de ces microorganismes symbiotiques. En effet, les champignons ectomycorhiziens sont des partenaires indispensables à l'établissement et à la survie des *Tristaniopsis* spp. dans les maquis miniers. La maîtrise de leurs partenaires microbiens est indispensable à leur réimplantation durable dans les zones dégradées.

A partir du système modèle *Pisolithus albus*-*Tristaniopsis guillainii* représentatif des formations ectomycorhiziennes sur maquis minier, l'isolement et la caractérisation de gènes impliqués dans l'adaptation au « syndrome serpentinique » permettra de disposer rapidement d'une collection de gènes dont l'expression sera liée aux différentes adaptations sur sols ultramafiques : teneurs en N, P, K, Ca/Mg, Ni. Ce type d'indicateur permettra de s'assurer que les ectomycorhizes présentent au stade initial du processus de restauration (*i.e.* : lors de la mise en place des topsoils) ont bien conservé et présentent les activités fongiques nécessaires à un développement durable et à long terme sur sol ultramafique et donc à l'établissement durable d'un couvert végétal. Les résultats obtenus sur *Pisolithus albus* permettront par la suite d'élaborer de projets permettant l'identification dans d'autres ECM (russules, cortinaires, lactaires, ainsi que laccaires) de ces mêmes gènes mis en évidence chez *P. albus* (orthologues), afin de disposer d'indicateurs fonctionnels de l'établissement

de communautés fongiques pour la restauration des maquis miniers dégradés.

- Tâche 2 : Expérimentations de mycorhization en serre

Nos connaissances sur les symbioses mycorhiziennes en milieu minier étant encore assez limitées, des essais sur terrain nécessitent le passage préalable par des essais en serre. Un certain nombre de travaux ayant déjà été réalisés dans ces conditions, les 3 expérimentations ici proposées concerneront essentiellement des compléments d'étude en conditions semi-contrôlées afin de mieux maîtriser les essais sur terrain.

Un des objectifs en technologie de la restauration est d'améliorer le rendement de la technique de l'ensemencement hydraulique. En effet, la méthode classiquement employée consiste à projeter un mélange de semences comprenant des Graminées "importées", des Cypéracées, qui constituent la strate herbacée prédominante des sols ultrabasiques, ainsi que des ligneux indigènes ou endémiques du maquis néo-calédonien. Les Graminées, espèces inadaptées à ces types de substrats, jouent le rôle d'espèces nurses, dites sacrifiées, fixant la surface du sol, limitant ainsi l'érosion de surface et créant des conditions favorables pour la germination des semences du maquis. Leur germination est très rapide contrairement aux espèces indigènes. Ces Graminées, après un certain temps et du fait de leur non adaptation au milieu, doivent "idéalement" dépérir (carence, phytotoxicité, ...), laissant le champ libre aux espèces associées. Cependant pour diverses raisons, il est aujourd'hui admis qu'il faut réduire, voire éliminer les Graminées des mélanges de semis hydraulique et tenter de les remplacer par des espèces herbacées natives, telles que les Cypéracées, mais également par des espèces ligneuses pionnières qui ont déjà fait l'objet de nombreux travaux (Jaffré et Pelletier, 1992). Pour y parvenir, il faut d'une part améliorer la germination des espèces pionnières et d'autre part, grâce à l'utilisation des symbiotes fongiques, dès la germination des graines, réduire la mortalité dans les premiers stades et plus généralement augmenter la résistance des plantules aux stress environnementaux, ce que la mycorhization est réputée induire.

Ainsi, les expérimentations en serre visent à maîtriser les processus de mycorhization dans différentes conditions et avec des plantes bien différentes. Les 3 espèces végétales utilisées ont en effet des affinités avec les champignons mycorhiziens et des modes de mycorhization bien distincts. C'est pourquoi 3 expérimentations en serre seront mises en place :

* **Sous-tâche 1** : Influence de différents inoculum ECM en mélange, provenant de topsoils, sur la croissance et la survie de plants de *Tristaniopsis guillainii*.

* **Sous-tâche 2** : Influence de la fertilisation phosphatée sur la qualité et l'intensité de l'endomycorhization chez *Costularia comosa*. Des résultats de précédents travaux indiquent en effet que des doses modérées de phosphates stimulent la mycorhization de cette plante. Il s'agit donc ici de déterminer les doses de fertilisants favorables à la mycorhization.

* **Sous-tâche 3** : Mise au point d'une technique d'enrobage des graines d'*Alphitonia neocalédonica* en vue de son utilisation en hydroseeding et influence de l'inoculum produit sur la croissance et l'adaptation des plants. Si l'enrobage de graines est bien connu pour la bactérisation avec du *Rhizobium*, cette pratique reste à développer pour l'apport de champignons mycorhiziens dès les premiers stades de développement de la plantule.

- Tâche 3 : Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière

L'expérience sera réalisée sur *Tristaniopsis guillainii*, espèce végétale sur laquelle sont effectués des travaux concernant les champignons ECM (voir plus haut). Cette espèce a par ailleurs l'intérêt de produire également des mycorhizes à arbuscules. Si des essais d'inoculation contrôlés ont été réalisés ailleurs sur des sols plus classiques (en Nouvelle-Calédonie un essai d'endomycorhization est en cours au parc forestier), à notre connaissance, aucune expérimentation de ce type n'a encore été réalisée en milieu ultramafique.

Les objectifs sont multiples, outre la validation de l'importance des gènes d'adaptation, il s'agit aussi sur le plan scientifique d'étudier les interactions entre champignons MA et ECM dans les conditions naturelles. Sur le plan pratique, cette expérimentation permettra d'évaluer l'apport relatif d'une inoculation contrôlée avec des souches fongiques sélectionnées, en termes de croissance et d'adaptation des plantes de maquis miniers.

Par ailleurs, une localisation et un suivi microscopique de la dynamique des métaux dans la rhizosphère des plantes inoculées seront réalisés, en relation avec le volet 3. L'objectif est de comprendre et de décrire la dynamique des métaux depuis les phases porteuses des sols vers le système racinaire, en précisant le rôle des micro-organismes et des mycorhizes dans le transfert de nutriments et de métaux vers la racine.

3.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet

3.2.1. Programme scientifique et organisation du projet

- **Tâche 1 :** *Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique*

Il s'agit d'identifier les principales espèces de champignons MA des sols ultramafiques néocalédoniens et de compléter l'inventaire de la biodiversité des champignons ECM associés aux *Tristaniopsis* spp en élargissant les prospections à plusieurs massifs. Enfin, des gènes d'adaptation des champignons ECM au syndrome serpentinique seront recherchés en utilisant les techniques les plus actuelles dans ce domaine. Ces données pourront ensuite être utilisées pour choisir les modalités de l'expérimentation de mycorhization sur terrain.

- **Tâche 2 :** *Expérimentations de mycorhization en serre*

* **Sous-tâche 1 :** Influence de différents inoculum ECM en mélange, provenant de topsoils, sur la croissance et la survie de plants de *Tristaniopsis guillainii*.

Il s'agit de réaliser en serre des assemblages contrôlés de topsoil renfermant des mycéliums de champignons ectomycorhiziens caractérisés moléculairement (y compris des mycéliums de *Pisolithus albus*). Des plants de *Tristaniopsis guillainii* seront cultivés sur ces assemblages afin de caractériser l'effet de la diversité des mycorhizes sur la croissance et la survie de la plante hôte.

* **Sous-tâche 2 :** Influence de la fertilisation phosphatée sur la qualité et l'intensité de l'endomycorhization chez *Costularia comosa*.

L'expérience sera réalisée sur un topsoil. Différentes concentrations de phosphore seront testées, avec par ailleurs, un apport modéré, mais constant d'azote. Pour la mycorhization des plants, une souche fongique MA sélectionnée sera utilisée, ainsi qu'un inoculum naturel. La croissance et la survie des plants seront alors suivies et le lien avec le degré de mycorhization sera analysé.

*** Sous-tâche 3 :** Mise au point d'une technique d'enrobage des graines d'*Alphitonia neocaledonica* en vue de son utilisation en hydroseeding et influence de l'inoculum produit sur la croissance et l'adaptation des plants.

Dans un premier temps, une étude au laboratoire consistera à rechercher des composés ou des mélanges permettant de faire adhérer sur les graines pré-germées d'*Alphitonia neocaledonica* une suspension de spores de champignon MA. Ensuite, les graines ainsi enrobées seront semées sur du topsoil et un suivi régulier de leur croissance et de leur survie sera effectué. Les résultats de cette expérience seront ensuite vérifiés aussi sur *Costularia comosa*.

- **Tâche 3 :** *Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière*

Les plants de *Tristanopsis guillainii*, cultivés en pépinières, seront inoculés ou non avec une souche de *Pisolithus albus* (ECM), et/ou de *Glomus etunicatum* (MA) avant d'être transférés sur une parcelle de terrain minier. Un suivi est alors réalisé sur une période minimale de 3 ans.

Par ailleurs, les métaux seront localisés dans la rhizosphère des plantes inoculées et un suivi microscopique de leur dynamique sera réalisé. Ce travail est en relation avec le volet 3.

3.2.2. Description des travaux

- **Tâche 1 :** *Biodiversité des champignons mycorhiziens et adaptation au milieu ultramafique*

***Sous-tâche 1 : Champignons MA.**

Des échantillons de sols et de racines de diverses espèces végétales de maquis miniers seront prélevés à partir de 3 sites différents. L'ADN des symbiotes fongiques sera extrait et les rDNA seront amplifiés par PCR à l'aide des amorces universelles AM1/NS31. Les produits d'amplification seront ensuite séquencés sur la plateforme du vivant récemment équipée à Nouméa et des arbres phylogénétiques seront créés.

***Sous-tâche 2 : Champignons ECM.**

Des parcelles seront identifiées dans 8 à 10 massifs miniers, réparties sur l'ensemble du territoire afin de réaliser régulièrement des prospections des carpophores. Les carpophores seront systématiquement photographiés sur le terrain, prélevés et décrits sur le frais. Un fragment de chaque carpophore sera prélevé pour la réalisation d'analyses moléculaires. Les carpophores seront ensuite séchés et gardés en herbier pour réaliser des observations au microscope en vue de leur identification. Afin de compléter les données recueillies sur les carpophores, dans chacune de ces parcelles, des ectomycorhizes seront prélevées sous une dizaine d'arbres dans chaque parcelle afin de caractériser par séquençage de l'ADN ribosomique, le champignon en symbiose in situ.

- *Identification par analyse transcriptomique massive de déterminants génétiques impliqués dans l'adaptation au « syndrome serpentinique » chez *Pisolithus albus*.* A partir des souches de *P. albus* sensibles et hypertolérantes au nickel isolées ultramafiques et caractérisées au LSTM (Jourand *et al.*, soumis), une étude transcriptomique par séquençage à haut-débit sera développée. Les souches de référence seront cultivées *in vitro* dans des conditions contrastées d'apport de nickel, d'azote, de phosphate, de potassium et de rapport calcium/magnésium, représentatives des conditions des contraintes minérales majeures des sols ultramafiques. Les ARNm isolés dans ces différentes conditions seront séquencés par pyroséquençage 454 GS FLX version Titanium (Roche).

Cette technique permet d'obtenir potentiellement la lecture de 400 millions de bases par cycle d'analyse (1 million de lectures unitaires, de taille moyenne 400bp). De plus, 12 marqueurs spécifiques sont disponibles permettant le traitement simultané de 12 échantillons (multiplexage). Le nombre de lecture par conditions expérimentales peut être évalué à $>10^7$ bp. Le nombre potentiel de gènes présents dans le génome des ECM varie approximativement de 10000 à 20000 avec une taille moyenne de 1,5-2 kb (Martin *et al.*, 2008). Le traitement des données : assemblage des contigs, alignement des séquences (BLAST,...), analyses croisées permet potentiellement d'assurer une estimation quantitative de l'expression de chacun des gènes transcrits dans une condition donnée. Les résultats de ce premier criblage fourniront une liste de gènes candidats dont l'expression est significativement modulée en plus ou en moins selon les conditions des sols ultramafiques (Ni, N, P, K, Ca/Mg) dans les souches tolérantes au nickel des sols ultramafiques. Un nombre restreint de gènes sera pré-sélectionné sur la base de critères : (i) d'abondance, (ii) de niveau différentiel d'expression selon les conditions, (iii) de spécificité selon les conditions, (iv) d'analyse de la littérature et de connaissances sur d'autres organismes, (v) de présence de séquences homologues dans les bases de données.

- *Analyse quantitative de l'expression des gènes candidats de l'adaptation ultramafique de P. albus.* Les gènes candidats sélectionnés, ainsi que des gènes d'intérêt potentiel pour les fonctions de nutrition minérale seront utilisés pour construire une puce à ADN (DNA microarray). Cette puce permettra d'analyser en parallèle l'expression d'un ensemble de gènes en priorité pour les éléments (N, P, K, Ca/Mg, Ni) pour lesquels un niveau différentiel d'expression des gènes correspondant à cet élément (transporteurs, enzymes des voies d'assimilation) aura été mis en évidence dans la partie 3.1 : (i) cinétiques d'expression, (ii) modulation des concentrations de l'élément (iii) expression en présence de la plante-hôte *Tristaniopsis* en dispositif contrôlé, Cette analyse sera par la suite étendue aux autres éléments-clés du « syndrome serpentinique ». Certains gènes présentant potentiellement un comportement remarquable, par exemple très forte variation des niveaux d'expression, pourront faire l'objet d'une analyse plus quantitative par RT-qPCR.

- *Validation d'« indicateurs génétiques de l'adaptation ultramafique ».* La mise en place d'un dispositif expérimental d'inoculation contrôlée *Tristaniopsis guillainii*-*Pisolithus albus* en plein champ permettra de valider *in situ* l'expression des gènes retenus pour la construction de la puce à ADN en parallèle avec l'analyse de l'évolution des populations de *Pisolithes* (marqueurs ITS). La même méthodologie d'analyse sera utilisée pour coupler l'analyse de l'expression des indicateurs à celle des populations de *Pisolithes* dans les dispositifs d'essais de topsoils en conditions contrôlées.

- Tâche 2 : Expérimentations de mycorhization en serre

* Sous-tâche 1 : Influence de différents inoculums ECM en mélange, provenant de topsoils, sur la croissance et la survie de plants de *Tristaniopsis guillainii*.

Dans une parcelle de maquis à *Tristaniopsis guillainii* poussant sur sol gravillonnaire (bille d'oxy-hydroxydes de fer), des mycéliums formants des agglomérats seront prélevés par plaque. La dimension des plaques dépendra exclusivement du stade de développement du champignon ; de 0,02 à plus de 1 m² sur une épaisseur de 3 à 5 cm (généralement constaté sur le terrain). Le champignon ectomycorhizien formant l'agglomérat sera caractérisé à l'aide d'outil moléculaire : séquences ribosomiques partielles. Les agglomérats seront ensuite utilisés en fragments de 25 cm² afin de composer des inoculums purs ou mélangés ; les mélanges comprendront 3 ou 6 espèces fongiques différentes soit un total de 150 cm² que l'inoculum soit pur ou en mélange. Dans le

dispositif, les inoculum purs seront systématiquement testés ainsi que les combinaisons possibles de 3 et 6 espèces. Des jeunes plants de *Tristaniopsis guillainii* seront repiqués sur ces inoculum. Les plants seront placés dans la serre tunnel de l'IAC à Port Laguerre pendant 18 mois. La survie et la croissance des plants seront mesurées tous les mois pendant 18 mois. Après 18 mois de culture, les ectomycorhizes formées par les plants seront caractérisées par séquençage partiel de l'opéron ribosomique afin de déterminer les variations dans l'établissement des cortèges ectomycorhiziens en fonction de l'inoculum d'origine.

***Sous-tâche 2 : Influence de la fertilisation phosphatée sur la qualité et l'intensité de l'endomycorhization chez *Costularia comosa*.**

Des plantules de *Costularia comosa* seront obtenues à partir de graines. Après un mois à un mois et demi, les plantules seront inoculées avec une suspension de spores d'une souche de *Glomus etunicatum* de sol minier sélectionnée, ou avec un inoculum naturel (sol riche en spores MA). Elles seront ensuite plantées sur un topsoil en terrine. Le sol sera alors fertilisé avec différentes doses de phosphore sous forme de granulés à libération lente, combiné avec de l'azote et du potassium. Des échantillons témoins non inoculés et non fertilisés seront préparés. Un suivi de la croissance et de la mortalité sera alors réalisé sur environ 2 ans. Le taux de mycorhization sera estimé à partir du 8^{ème} mois, environ tous les 6 mois. L'aspect qualitatif de la mycorhization sera également suivi. L'analyse des résultats permettra de montrer si certaines doses de phosphore améliorent la mycorhization et si cette amélioration influence la croissance et la survie des plantules.

***Sous-tâche 3 : Mise au point d'une technique d'enrobage des graines d'*Alphitonia neocaledonica* en vue de son utilisation en hydroseeding et influence de l'inoculum produit sur la croissance et l'adaptation des plants.**

- La première étape de cette étude consiste à tester au laboratoire différentes recettes d'enrobage des graines avec des spores mycorhiziennes. Différents polymères végétaux seront testés pour l'enrobage, notamment : alginate, agar et pectines. Il s'agit de faire adhérer les spores MA (souche pure de *Glomus etunicatum* isolée de sol minier) sur les graines sans asphyxier ses dernières et sans que le composé crée un développement microbiens risquant d'envahir et de tuer la graine. Une fois les graines enrobées, la viabilité des spores MA adhérentes sera vérifiée en incubant les graines en boîtes de Pétri, pendant un mois, puis en observant à la loupe binoculaire la surface des graines. Le taux de spores germées sera calculé et permettra de s'assurer que les spores MA restent viables dans ces conditions.

- La deuxième étape consiste alors à mettre ces graines sur un sol minier, en pot et à les placer en serre, afin de vérifier l'effet de cet enrobage sur la croissance et la survie des plantes. Des traitements témoins, avec enrobage sans spores seront bien entendu mis en place. Un autre traitement témoin consistera en une inoculation classique des racines des plants par une suspension de spores MA. Le taux de mycorhization sera mesuré pour tous les traitements. L'analyse des résultats permettra de vérifier si le mode d'enrobage choisi donne d'aussi bons résultats que l'inoculation des plantules. Un tel résultat permettrait alors d'inoculer des graines pre-germées d'*Alphitonia*, mais aussi d'autres espèces, pour leur utilisation en hydroseeding.

- Tâche 3 : Expérimentation sur terrain : essai d'inoculation contrôlée avec des champignons ECM et MA sur un topsoil remplacé après exploitation minière

Des plants de *T. Guillainii* seront inoculés par différentes souches ectomycorhiziennes de

Pisolithus albus sélectionnées pour leur tolérance au nickel : une souche hyper tolérante MD06-339 et une souche faiblement tolérante (en cours de sélection), une souche mycorhizienne arbusculaire sélectionnée pour sa capacité à réduire l'absorption de nickel et à améliorer la croissance de la plante hôte (SFONL) seront produit à la pépinière de l'IAC (axe 2) à Port Laguerre. Des plants non inoculés et des plants inoculés avec un mélange de topsoil du site de plantation seront également produits afin de constituer des témoins.

L'essai sera mis en place en pépinière dès les premiers mois du projet afin de pouvoir transférer les plants (100 par modalité soit un total de 500 plants) après 12 à 18 mois de pépinière suivant le stade de développement des plants et les conditions pluviométriques sur le terrain. L'essai comprendra des parcelles unitaires (PU) de 25 plants (5 au carré) en espacement de 1m au carré. Chaque PU sera entourée d'une bande de plantation d'*Alphitonia neocaledonica* soit un total de 498 plants. L'essai qui sera entièrement clôturé occupera une surface de 2322 m² (54 m × 43 m).

La croissance et la survie des plants seront suivies en pépinière tous les mois, le temps de la pépinière (12 à 18 mois). Au moment de la mise en place, une partie des plants (5 par traitement) sera sacrifié afin d'effectuer un contrôle moléculaire de mycorhization. Pour l'ensemble des plants transférés sur le terrain, un contrôle visuel sera effectué. L'absence visible de mycélium et d'ectomycorhize de *Pisolithus albus* conduira au rejet des plants qui ne seront pas mis sur le terrain ; seuls les plants inoculés présentant une mycorhization visible seront transférés.

Après transplantation sur le terrain (site à définir), la mycorhization sera régulièrement contrôlée grâce à des outils moléculaire neutre (homologie de séquences dans l'opéron ribosomique et β -tubuline) et fonctionnel (cf. tâche 3.3)

La localisation et le suivi microscopique de la dynamique des métaux dans la rhizosphère des plantes inoculées seront effectués, afin de décrire la dynamique des métaux depuis les phases porteuses des sols vers le système racinaire, en précisant le rôle des micro-organismes et des mycorhizes dans le transfert de nutriments et de métaux vers la racine. Des blocs de terre intacts frais provenant des parcelles expérimentales de revégétalisation seront prélevés au niveau de la zone rhizosphérique en incluant les racines (et obligatoirement les mycorhizes associées) afin d'étudier les mécanismes de mobilisation des métaux. Pour des études à l'échelle microscopique, on réalisera des lames minces comportant la zone d'interface sol/racine, lames minces qui seront analysées par MEB-EDXS et microfluorescence X pour localiser les métaux. Le statut chimique des métaux pourra être déterminé par micro-spectroscopie d'absorption X (techniques liées au rayonnement synchrotron, *e.g.* Hambourg-Allemagne). (Montargès-Pelletier *et al.*, 2008)

4. Volet 3- Dynamique des métaux et de la matière organique *in situ*

Avec plus de 10 000 hectares de surface touchée par l'activité minière, la réhabilitation des sites miniers de Nouvelle-Calédonie représente un véritable défi pour l'avenir. Une première technique, qui fait l'objet du volet 1 de ce même projet, consiste à exploiter les ressources en topsoil sur la zone exploitée. Toutefois, des problèmes se posent lorsque ce matériel a été éliminé ou mal conservé. Dans les stratégies de réhabilitation des espaces miniers dégradés, il peut-être intéressant de créer un sol arable artificiel pouvant assurer les fonctions écologiques classiques des sols mais composés de matériaux plus ou moins naturels remaniés. Une approche est celle qui consiste à compenser l'absence de topsoil contenant les éléments nutritifs mobilisés par le couvert végétal et recyclés dans cet horizon organo-minéral au cours de l'altération des sols par l'apport aux stériles miniers de matériaux nouveaux, riches en matière organique et en nutriments et susceptible

d'assurer une rétention d'eau en surface des sols. A ce titre, les boues de station d'épuration sont un matériau intéressant pour la reconstruction de sol dans les espaces dégradés lorsque les horizons de surface (topsoil) ont disparu (Séré *et al.*, 2009). Cette technique de restauration des anciens sites miniers est une problématique récente et des travaux ont été menés sur d'anciennes mines ou de résidus de mines de charbon (Wilden *et al.*, 1999 ; Emmerling *et al.*, 2000).

Ce volet comporte :

- une expérimentation sur le terrain concernant les effets d'amendements organiques, décrite dans la **tâche 1**
- une étude du fonctionnement géochimique des sols et technosols utilisés ici, développée dans la **tâche 2**.

4.1. Description scientifique et technique du projet

4.1.1. Etat de l'art

-Tâche 1: Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain

Les boues de stations d'épuration (STEP) constituent un grand réservoir de nutriments qui permet d'améliorer la fertilité des sols et de favoriser le développement de la couverture végétal. Elles améliorent la germination des graines et réduisent leur mortalité (Haraldsen and Pedersen, 2003; Selivanovskaya and Latypova, 2006). En effet, l'apport de boues dans le sol modifie sa composition chimique, en augmentant la quantité de matière organique dont la minéralisation de la fraction biodégradable permet de fournir de l'azote et du phosphore biodisponible pour les plantes (Vieira *et al.*, 2005). Toutefois, les phénomènes d'adsorption sur les oxydes et hydroxydes de fer rendent le phosphore difficilement disponible aux plantes. L'aspect de cette biodisponibilité du phosphore issu des boues de STEP dans ces sols riches en oxydes de fer est privilégié.

Au niveau biologique, l'amendement provoque une augmentation de l'activité microbienne, notamment au cours des processus de minéralisation de la matière organique (Selivanovskaya and Latypova, 2006). Le même effet est observé au niveau de la macrofaune du sol tels que les vers de terre (Barrera *et al.*, 2001). Par contre, il semble exister des effets inhibiteur de la croissance des mycorhizes (Thorne *et al.*, 1998), ce qui reste à vérifier dans le cas des sols de Nouvelle-Calédonie.

L'effet des boues de STEP intervient aussi au niveau des propriétés physiques du sol notamment en modifiant la porosité du sol (Pagliai *et al.*, 1981).

D'autres matières organiques disponibles en Nouvelle-Calédonie peuvent aussi être utilisées, notamment des composts végétaux.

- Tâche 2: Fonctionnement géochimique des sols et technosols

La mobilité et la biodisponibilité des éléments métalliques et polluants organiques dans les écosystèmes dépendent des conditions physico-chimiques, des modes d'interaction avec les constituants organiques ou inorganiques et des activités biologiques du milieu. Pour étudier le comportement, le devenir et les conséquences des polluants *in situ*, les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol et des différentes fractions organiques présentes (polluants et macromolécules), les phases porteuses des métaux et la stabilité des associations organo-minérales et/ou métalliques devront être prises en compte. En particulier, pour le Cr et le Ni dans les sols ultramafiques tropicaux, la disponibilité est contrôlée en grande partie par les oxy-hydroxydes de Fer et de Mn (Echevarria *et al.*, 2006 ; Garnier *et al.*, 2009)

L'étude de la biodisponibilité des métaux par modélisation sur des colonnes reconstituées est une technique scientifique récente qui permet de simuler par la suite les effets d'itinéraires agronomiques sur les sols (*e.g.* pratiques d'amendement organique et de fertilisation minérale). Des travaux préliminaires sur des matériaux similaires au Brésil ont permis de montrer que les apports de fertilisants et/ou d'amendements organiques n'étaient pas sans effet sur le relargage de métaux par les matériaux stériles (Raous *et al.*, 2009, soumis à Water, Air and Soil Pollution).

4.1.2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

- Tâche1: *Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain*

Les objectifs de cette phase d'études des amendements organiques des sites miniers latéritiques consistent en :

- la réalisation d'un bilan des différents types d'amendement organiques utilisés pour la restauration des sites dégradés incluant les lisiers, déchets verts et divers composts. Un intérêt particulier sera porté sur l'utilisation des boues de stations d'épuration qui semble être une voie de valorisation prometteuse.
- L'étude de la disponibilité du phosphore issu de la minéralisation de la matière organique pour l'assimilation par les plantes. Cette étude pourra être mise en relation avec l'activité bactérienne dans les sols.
- L'étude de la compétition entre les bactéries allochtones apportées par les boues organiques et les mycorhizes du sol sur le moyen et long terme. Cette partie se fera en relation avec le volet 2 de ce projet.

- Tâche 2: *Fonctionnement géochimique des sols et technosols*

Les objectifs de cette partie sont les suivants:

- analyser la spéciation du nickel et du chrome dans différents topsoils et technosols et d'en tirer des conclusions concernant leur biodisponibilité et leur toxicité potentielle vis-à-vis des plants utilisés en revégétalisation et/ou en termes de ruissellement (pollution de l'environnement proche des mines),
- étudier l'évolution de la matière organique de ces sols et ses conséquences sur la fertilité des sols,
- analyser les liens entre la matière organique et les métaux. Il s'agit notamment de savoir si un apport organique tel que des boues de station d'épuration accentue ou non la libération des ces métaux dans les sols et donc leur toxicité potentielle.

4.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet

4.2.1. Programme scientifique et organisation du projet

Pour l'étude de ce volet 3, cinq types de sols seront suivis sur parcelles expérimentales :

1. Sol naturel non remanié (futur stérile minier)
2. Technosol jeune (stérile minier +/- topsoil) non amendé
3. Technosol jeune (stérile minier) amendé par apport de boues de STEP
4. Technosol jeune (topsoil) amendé par apport de boues de STEP
5. Technosol ancien (Plus de 10 ans de revégétalisation)

- Tâche 1 : Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain

Sur chacune des parcelles de la zone d'étude, il s'agira de suivre les variables biométriques des plantes modèles mises en culture (croissance, biomasse...). Les caractéristiques chimiques concernant les éléments majeurs (N, P et C) seront ensuite suivies tant dans les sols de chaque parcelle expérimentale que dans les différents compartiments des plantes (racines, tiges, feuilles).

Cette phase de caractérisation chimique sera mise en relation avec le projet concernant la biodisponibilité des nutriments qui a fait l'objet d'une demande de financement auprès du ministère de l'Outre-Mer. A cet effet, des outils d'analyse innovants comme les capteurs DGT (Diffusive Gradient in Thin films) seront développés et testés.

- Tâche 2: Fonctionnement géochimique des sols et technosols

* **Sous-tâche 1 : géochimie des sols.** Pour chaque type de sol, les constituants solides feront l'objet de caractérisation minérale et organique. Au-delà d'analyses chimiques globales amenant les concentrations totales en éléments majeurs et traces, les phases minérales majeures et porteuses de métaux présents seront caractérisées finement ainsi que la distribution spatiale et la spéciation chimique des mêmes métaux (Chardot *et al.*, 2007). Une étude analytique et qualitative de la matière organique sera également réalisée.

* **Sous-tâche 2 : Modélisation de la disponibilité des métaux.** Après études des échantillons de sols et technosols prélevés dans les parcelles expérimentales, des compositions modèles seront mises déterminées. Dans des systèmes modèles contrôlés (colonnes reconstituées approchant la composition des principaux types de matériaux stériles), la distribution chimique des métaux et des nutriments sera estimée au moyen de codes de calcul géochimique de type PHREEQC ou IMPACT.

4.2.2. Description des travaux

-Tâche 1 : Effet d'apports d'amendements organiques sur terrain

Les parcelles de cette étude seront mises en place dans une zone expérimentale située dans une mine encore en activité. Ces parcelles seront recouvertes (i) d'une couche de topsoil frais, (ii) d'une couche de stériles latéritiques (iii) de mélanges de ces deux types de sol ou (iv) de mixtes avec des boues organiques issues de STEP. Les parcelles amendées recevront une dose unique représentant 10 T MS/ha (les boues ayant une siccité de 15%). Les plantules, issues des espèces modèles sélectionnées au cours du volet 1 de ce projet, seront plantées sur chacune des parcelles et codées pour réaliser un suivi biométrique individuel. Des zones seront laissées vierges de toute végétalisation.

Au cours de cette étude, une campagne d'échantillonnage, par carottage, permettra de prélever, à intervalles réguliers, des échantillons de sol et de matière végétale.

A partir des échantillons frais une quantification des bactéries allochtones, issues des boues de STEP (coliformes et *Streptococcus* fécaux) et de la flore autochtone sera réalisée. Une mesure de l'activité bactérienne à partir de mesures d'activités enzymatiques pourra être envisagée.

Après lyophilisation, des analyses des nutriments seront effectuées par minéralisation en milieu acide. La teneur en éléments élémentaires seront déterminés par techniques CHN couplées à un spectromètre de masse. En liaison avec le projet MOM l'étude de la porosité des sols (taille et structure des pores) sera évaluée par technique de microscopie électronique (MET et MEB).

L'activité du sol étant très dépendante des variables climatiques, il est impératif de mettre en place une structure de suivi de ces paramètres par l'installation d'une mini-station météorologique avec unité d'enregistrement automatique des données.

- Tâche 2 : Fonctionnement géochimique des sols et technosols

***Sous-tâche 1 : Géochimie des sols.**

Des échantillons prélevés dans différentes parcelles et à différentes périodes seront soumises à l'analyse. Ces études mettront en œuvre aussi bien des techniques minéralogiques globales (DRX, FTIR) et microscopiques (MEB/MET-EDXS) que des techniques plus innovantes telles que la spectroscopie d'absorption des rayons X (en mode bulk, faisceau millimétrique). À ces méthodes d'observation directe, on associera des méthodes indirectes telles que l'extraction séquentielle, plus adaptée pour la détermination des espèces mobiles ou échangeables.

La matière organique des sols (et des boues apportées) sera analysée à l'échelle moléculaire après fractionnement, par le couplage de chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse. En complément, la distribution moléculaire des macromolécules organiques sera étudiée par HPLC-GPC (Gel Permeation Chromatography), fractionnée après collection et caractérisée par des outils spectroscopiques (IRTF, UV, Fluo) et par le couplage ESI-QToF. Les associations organométalliques seront particulièrement ciblées dans le cadre de ces analyses (Jeanneau *et al.*, 2008).

En parallèle de la caractérisation des constituants solides des sols, les eaux seront étudiées afin d'identifier la distribution des composés migrant à travers les sols (particules, colloïdes et/ou dissous) et leur nature chimique (organique et minérale). Pour cela, les parcelles expérimentales seront équipées de bougies poreuses (céramique) afin de récolter périodiquement les solutions interstitielles des sols. Les eaux récoltées seront filtrées au laboratoire (0,22 µm) afin de séparer les compartiments dissous et colloïdal. Le premier fera l'objet d'analyses chimiques complètes (cations majeurs et traces, anions, COD, pH, conductivité,...), tandis que la partie colloïdale sera étudiée (composition, minéralogie, MO,...) par différentes techniques micro-spectroscopiques.

***Sous-tâche 2 : Modélisation de la disponibilité des métaux.**

Pour les différents modèles reconstitués, la distribution chimique des métaux et des nutriments sera estimée au moyen de codes de calcul géochimique de type PHREEQC ou IMPACT. Pour ce faire, on suivra au cours du temps les paramètres chimiques des solutions en contact avec les matériaux stériles reconstitués. Les paramètres chimiques mesurés pH, COD, concentrations en éléments majeurs et traces, concentrations en anions. Des isothermes d'adsorption des métaux (Cr ou Ni) seront réalisées sur les phases majeures des sols pour alimenter la modélisation.

La pertinence de ces dispositifs modèles sera vérifiée par la comparaison des solutions de sol percolantes des colonnes avec celle des parcelles expérimentales.

5. Volet 4- Diversité génétique de quelques espèces des genres *Tristaniopsis* et *Scaevola* dans une perspective de conservation et de restauration écologique

5.1. Description scientifique et technique du projet

5.1.1. Etat de l'art

Les effets négatifs de l'exploitation minière sur les milieux naturels n'est plus à prouver ; fragmentation des milieux et perte de diversité biologique en sont les conséquences principales (Kettle *et al.*, 2007). Une approche préventive ayant pour but la préservation de sites choisis ainsi qu'une activité post-exploitation, visant à restaurer les milieux dégradés, se sont aujourd'hui imposées.

Ceci se traduit notamment dans le domaine forestier par la mise en préservation, en amont de l'exploitation minière, de sites choisis pour la qualité de la biodiversité qui y est présente, sites nodaux, ainsi que de corridors écologiques les reliant, véritable voies de communications et d'échanges entre les sites nodaux (Tewksbury *et al.*, 2002).

Afin de compenser l'impact de l'exploitation minière sur les populations d'espèces forestières naturellement présentes sur ce type de sol, la production de plants et leur réinsertion au sein d'aires protégées s'est également avérée nécessaire. Cette restauration forestière se doit d'être effectuée en respectant au mieux l'état originel des sites concernés. Etat qui peut être approché par une évaluation de la biodiversité forestière présente, et au sein de cette biodiversité, par une approche estimative de la diversité génétique de chacune des espèces qui la composent. La qualité de la base génétique, qui fondera le socle des populations à venir, devant pouvoir être assez conséquente pour assurer leur pérennité (Kettle *et al.*, 2008).

Pour que les populations résiduelles soient viables, il est donc indispensable de maintenir et favoriser la diversité génétique qui les compose, avec des effectifs adéquats, pour pouvoir assurer les flux de gènes essentiels à leur survie.

Parmi les espèces d'écotypes miniers calédoniens, celles des genres *Tristaniopsis* et *Scaevola* y sont particulièrement bien représentées. *Tristaniopsis calobuxus*, *T. guillainii*, et *Scaevola montana*, caractérisées de pionnières, sont déjà utilisées avec plus ou moins de succès dans les campagnes de restauration. Dans le but d'optimiser leur emploi nous nous proposons dans cette étude d'approfondir, pour ces trois espèces, nos connaissances sur :

- leur dynamique spatiale, et plus particulièrement l'effet de l'impact de la fragmentation des milieux sur cette dernière ;
- et leur dynamique temporelle, en mettant en évidence, s'il y a lieu, l'érosion dans le temps de la diversité génétique que les populations naturelles peuvent subir en milieu minier.

D'une manière générale, il s'agit là de comprendre où et comment mettre en œuvre les moyens nécessaires pour reconstituer les éléments manquants ou défaillants des réseaux écologiques, ensemble des sites nodaux et corridors qui leurs sont associés, à partir des trois espèces modèles citées.

On notera également que parmi les espèces de *Tristaniopsis* certaines sont classées sensibles sur la liste de l'UICN (Jaffré *et al.*, 1998). Ce qui confère un intérêt tout particulier à notre étude.

5.1.2. Objectifs, caractère ambitieux/novateur et pertinence du projet

Nos objectifs sont :

- i) Fournir des recommandations aux activités de préservations et restaurations des sites exploités
 - a. En faisant un "état des lieux" des populations de *Tristaniopsis* et *Scaevola* impactées, en termes de dynamique spatiale et d'évolution de leur diversité génétique, à partir duquel la définition des besoins en renforcement des effectifs et/ou implantations de nouvelles populations, si besoin est, pourra être déduite,
 - b. en identifiant les sites semenciers à partir desquels seront prélevées les graines nécessaires

- aux productions de plants,
- ii) Fournir un appui moléculaire à la caractérisation de la diversité spécifique des *Tristaniopsis* calédoniens.

5.2. Programmation scientifique et technique, organisation du projet

5.2.1. Programme scientifique et organisation du projet

L'organisation de cette étude comprendra les tâches suivantes:

- **Tâche 1:** Evaluer la diversité génétique des populations de *Tristaniopsis* et de *Scaevola* présentes sur les sites miniers exploités choisis pour modèles, et les comparer à celles existantes à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie afin d'évaluer l'impact de l'exploitation minières sur leurs diversités génétiques et leur évolution dans le temps ;
- **Tâche 2 :** Conduire des études de descendance dans le but d'identifier les distances de pollinisation qui permettront ultérieurement de définir les distances maximum entre deux populations, ou plantations, permettant les flux de gènes entre elles ;
- **Tâche 3 :** Appréhender la dynamique spatiale de leurs populations afin de mieux identifier les mécanismes de colonisation de ces espèces sur le terrain, avec notamment l'identification des distances de dissémination des graines.
- **Tâche 4 :** Mettre au point un outil moléculaire d'identification des différentes espèces calédoniennes de *Tristaniopsis*.

5.2.2. Description des travaux

- **Tâche 1 :** *Etudes de la diversité génétique des populations de Tristaniopsis et de Scaevola*

Le point sur l'état des populations perturbées, permettra d'élaborer au plus près d'elles les protocoles d'opérations de restauration à y conduire.

Une base de données démographique et phénologique est préalablement nécessaire. Elle permettra d'élaborer un schéma d'évolution spatiale des populations modèles concernées et d'en apprécier leur structure en termes de classe de diamètre, nombre de reproducteurs, expansion géographique des populations. Son élaboration sera faite à partir de relevés sur le terrain de types démo-dendrométrie et de suivis phénologiques.

Cette base constituera le socle essentiel à l'étude de la dynamique de la diversité génétique qui a pour objectif de connaître l'état de variabilité dans lequel se trouvent les populations des sites étudiés et d'en estimer leur devenir.

En effet, la variabilité génétique confère aux organismes la capacité de s'adapter aux conditions environnementales changeantes. Sa conservation est donc une condition nécessaire pour l'évolution et l'adaptation des populations et/ou des espèces face aux événements d'origine anthropique et/ou climatique. Pour ce faire et pour chacune des espèces étudiées, les comparaisons des niveaux de diversité génétique entre les classes de diamètres observés, prises comme estimées des classes d'âges existantes, devront être effectuées.

Ces niveaux de diversité génétique seront définis à partir de l'analyse de la diversité alléliques de locus ADN très variables (microsatellites) à identifier pour chacune des espèces

étudiées.

Une dépréciation des niveaux de diversité génétique observés des classes les plus anciennes aux classes les plus jeunes, jusqu'aux graines de l'année, sera révélatrice d'une perte de diversité qui pourra avoir des conséquences négatives à terme sur le devenir même de la population (trop peu de reproducteurs effectifs, baisse des capacités d'adaptation, ...). Au contraire, un maintien ou un gain de diversité sera preuve d'un état stationnaire de la population, voire d'apports externes en pollinisation régénérateurs et gages de régénérations diversifiées.

Afin de ne pas perturber la distribution spatiale naturelle de la diversité génétique de l'espèce aux niveaux des sites à revégétaliser, il est également essentiel de prêter une attention toute particulière aux choix des lots de semences à partir desquels les plants à introduire seront produits - la diversité génétique du lot de plants à introduire devant être à l'image de celle de la population du site d'accueil.

De fait, une analyse de la structuration spatiale de la diversité génétique des espèces étudiées à l'échelle de leur distribution sur le territoire s'impose. Cette analyse permettra de définir les différents niveaux de richesse de la diversité rencontrés sur chaque site, ce qui les compose, leur spécificité s'il y a, et, plus largement, comment s'organise spatialement cette diversité génétique en Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, pour chacun des sites calédoniens concernés par un programme de revégétalisation et/ou d'enrichissement pour une des espèces étudiées, les groupes semenciers potentiels leur correspondant génétiquement pourront être identifiés et référencés.

-Tâche 2 : Etudes de descendances

Sur les sites déjà étudiés dans le cadre de l'analyse de la diversité génétique, l'identification d'une vingtaine de reproducteurs sera faite et des récoltes de graines seront effectuées dans le but d'élever en pépinière une trentaine de descendances par pied mère.

L'analyse génétique des descendances et des pieds mères sera effectuée, comme précédemment décrite, et le profil des pères déduit par différence. La comparaison aux profils des pères potentiels présents sur site permettra d'identifier le ou les individus correspondants et de mesurer la distance qui les sépare des pieds mères : distance de pollinisation.

- Tâche 3 : Identification des distances de dissémination des graines

A partir des études de démo-génétique faites sur les populations modèles ainsi que celles conduites sur la structuration de la diversité génétique à l'échelle du territoire, il s'agira de retracer un modèle de dynamique spatiale capable d'estimer les distances de dissémination de graine pour chacune des espèces considérées.

- Tâche 3 : Outil moléculaire d'identification des différentes espèces calédoniennes de *Tristaniopsis*

Il s'agit d'effectuer une taxonomie par approche moléculaire du groupe des *Tristaniopsis* calédoniens. Cet outil, véritable « base de données de profils d'identité moléculaire spécifique », permettra à terme d'identifier à toute époque de l'année et sur la base d'analyses moléculaires simples opérées en laboratoire lorsque besoin il y a, l'espèce à laquelle appartient le ou les individus rencontrés sur le terrain.

Pour ce faire, une base de données de caractérisation et différenciation, par marqueurs moléculaires (profils microsatellites/séquences d'ADN), de chaque espèce du genre *Tristaniopsis* répertoriée sur le territoire est à constituer.

Par la suite, et à la demande, l'identification d'individus rencontrés sur le terrain, à partir d'échantillons végétal qui leur seront prélevés à des fins d'analyses comparatives en laboratoire, pourra être effectuée.

6. Références bibliographiques

- Amir H., Jasper D.A., Abbott L.K. (2008) Tolerance and induction of tolerance to Ni of arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soils. *Mycorrhiza* 19, 1-6.
- Amir H, Lagrange A (2008) Arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soil improve the tolerance to nickel of endemic plant species. Six International Conference on Serpentine Ecology, 16-23 juin 2008, Bar Harbor, USA.
- Amir H, Perrier N, Rigault F, Jaffré T (2007) Relationships between Ni-hyperaccumulation and mycorrhizal status of endemic plant species from New Caledonian ultramafic soils. *Plant soil* 293, 23-35.
- Amir H, Pineau R (2003a) Release of Ni and Co by microbial activity in New Caledonian ultramafic soils. *Can. J. Microbiol.* 49, 288-293.
- Amir H, Pineau R, (2003b) Ecologie microbienne des sols métallifères : la boîte grise. Préservation et restauration écologique en environnement tropical minier, 15-20 Juillet 2003, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.
- Barrera I, Andrés P, Alcañiz JM (2001) Sewage Sludge Application on Soil: Effects on Two Earthworm Species. *Water, Air, & Soil Pollution*, 129: 319-332.
- Baskin CC, Baskin JM, Spooner DM (1989) Role of temperature, light and date: seeds were exhumed from soil on germination of four wetlands perennials. *Aquatic Bot.* 35, 387-394.
- Bellion M, Courbot M, Jacob C, Blaudez D, Chalot M (2006) Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 254, 173-181.
- Chardot V, Echevarria G, Gury M, Massoura S, Morel JL (2007) Nickel bioavailability in an ultramafic toposequence in the Vosges Mountains (France), *Plant Soil* 293, 7-21.
- Corratgé C, Zimmermann S, Lambilliotte R, Plassard C, Marmeisse R, Thibaud JB, Lacombe B, Sentenac H (2007) Molecular and functional characterization of a Na⁺-K⁺ transporter from the *trk* family in the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum*. *J. Biol. Chem.* 282, 26057-26066.
- Dubus IG, Becquer T (2001) Phosphorus sorption and desorption in oxide-rich ferralsols of New Caledonia. *Aust. J. Soil Res.* 39, 403-414.
- Echevarria G, Massoura S, Sterckeman T, Becquer T, Schwartz C, Morel JL (2006) Assessment and control of the bioavailability of Ni in soils. *Environ. Toxicol. and Chem.*, 25, 643-651.
- Emmerling C, Liebner C, Haubold-Rosar M, Katzur J, Schroder D (2000) Impact of application of organic waste materials on microbial and enzyme activities of mine soils in the Lusatian coal

- mining region. *Plant and Soil*, 220: 129-138.
- Fogliani B, Bouraïma-Madjèbi S, Medevielle V, Pineau R (2004) Methods to promote germination of two Cunoniaceae species, *Cunonia macrophylla* and *Geissois pruinosa* from New Caledonia. *Seed Sci. and Tech.* 32 (3), 703-715.
- Garnier J, Quantin C, Echevarria G, Becquer T (2009) Assessment of chromate availability in tropical ultramafic soils, *Journal of Soils and Sediments* (sous presse)
- Hacskeylo E, Vozzo JA (1967) Inoculation of *Pinus caribaea* with pure cultures of mycorrhizal fungi in Puerto Rico. *Congress Proceedings, International Union of Forestry Research Organizations*, vol 5, sect 24, pp 139–148.
- Haraldsen TK, Pedersen PA (2003). Mixtures of crushed rock, forest soils, and sewage sludge used as soils for grassed green areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2: 41-51.
- Jaffré T, Bouchet P, Veillon JM (1998) Threatened plants of New Caledonia: Is the system of protected areas adequate? *Biodiv. Conserv.* 7, 109-135.
- Jaffré, T., Pelletier, B., 1992. Plantes de Nouvelle-Calédonie permettant de revégétaliser des sites miniers. Brochure Société Le Nickel - SLN, Nouméa: 114 pp.
- Jasper DA (1994) Bioremediation of agricultural and forestry soils with symbiotic micro-organisms. *Aust. J. Soil Res.* 32, 1301-19.
- Jasper DA, Abbott LK, Robson AD (1989) Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 112, 93-99
- Javelle A, Morel M, Rodríguez-Pastrana B, Botton B, André B, Marini AM, Brun A, Chalot M (2003) *Mol. Microbiol.* 47, 411-430.
- Javelle A, Rodríguez-Pastrana B, Jacob C, Botton B, Brun A, André B, Marini AM, Chalot M (2001) *FEBS Lett.* 505, 393-398.
- Jourand P, Ducousso M, Reid R, Moulin L, Hannibal L, Loulergue-Majorel C, Lebrun M (2009) Genetic variation and nickel tolerance in *Pisolithus albus* from New Caledonia, soumis pour publication) à FEMS Microbiology.
- Kazakou E, Dimitrakopoulos PG, Baker AJM, Reeves RD, Troumbis AY (2008) Hypotheses, mechanisms and trade-offs of tolerance and adaptation to serpentine soils: from species to ecosystem level. *Biol. Rev.* 83, 495-508.
- Kettle CJ, Hollingsworth PM, Jaffré T, Moran B, Ennos RA (2007) Identifying the early genetic consequences of habitat degradation in a highly threatened tropical conifer, *Araucaria nemorosa* Laubenfels, *Mol. Ecol.* 16, 3581-3591.
- Kettle, CJ, Ennos RA, Jaffré T, Gardner M, and Hollingsworth PM (2008) Cryptic genetic bottlenecks during restoration of an endangered tropical conifer. *Biol. Conserv.* 141 (8), p.1953-1961.
- Lagrange A, Ducousso M, Jourand P, Majorel C, Amir H (2009) *Cyperaceae* from New Caledonian ultramafic soils are mycorrhizal : New insights into the mycorrhizal behaviour of *Cyperaceae* from New Caledonian ultramafic soils. *Plant Soil* (soumis).
- L’Huillier L (2007) Assessment of soil seed banks for rehabilitation of nickel mines in New Caledonia. In “Proceedings of the Seed Ecology II 2007 Conference, 9-13 September, Perth, Australia”. Eds. S Turner, D Merritt, S Clarke, L Commander and K Dixon. pp 51. Kings Park

- and Botanic Garden, Perth, Australia.
- MacLean D, Jones JDG, Studholme DJ (2009) Application of “next-generation” sequencing technologies to microbial genetics. *Nature Rev. Microbiol.* 7, 287-296.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Ltd, 265-312.
- Martin F, Aerts A, Ahren D, Brun A, Danchin EGJ *et al.* (2008) The genome of *Laccaria bicolor* provides insights into mycorrhizal symbiosis. *Nature* 452, 88-92.
- Montargès-Pelletier E, Chardot V, Echevarria G, Michot L, Bauer A, Morel JL (2008) Identification of nickel chelators in three hyperaccumulating plants: An X-ray spectroscopic study, *Phytochemistry* 69, 1695-1709.
- Pagliai M, Guidi G, La Marca M, Giachetti M, Lucamante G (1981) Effects of Sewage Sludges and Composts on Soil Porosity and Aggregation. *J Environ. Qual.*, 10: 556-561.
- Perrier N (2005) Biodiversité fonctionnelle des sols latéritiques miniers: application à la restauration écologique (massif du Koniambo, Nouvelle-Calédonie). Thèse doctorat, univ. Nouvelle-Calédonie.
- Perrier N, Amir H, Colin F (2006) Occurrence of mycorrhizal symbioses in the metal rich ultramafic soils of the Koniambo Massif, New Caledonia. *Mycorrhiza* 16, 449-458.
- Pillon Y (2005) Biodiversité, origine et evolution des cunoniaceae: implication pour la conservation de la flore de Nouvelle-Calédonie. Thèse doctorat, Univ. Nouvelle-Calédonie.
- Quantin C, Becquer T, Berthelin J (2002) Mn-oxide: a major source of easily mobilisable Co and Ni under reducing conditions in New Caledonia Ferralsols. *C. R. Geosciences*, 334, 273-278.
- Roche S, Dixon KW, Pate JS (1998) For everything a season: smoke-induced seed germination and seedling recruitment in a Western Australian Banksia woodland. *Aus. J. Ecol.* 23, 111-120.
- Selivanovskaya S, Latypova V (2006). Effects of composted sewage sludge on microbial biomass, activity and pine seedlings in nursery forest. *Waste Management*, 26: 1253-1258.
- Tatry MV, El Kassis E, Lambilliotte R, Corratgé C, van Aarle I, Amenc LK, Alary R, Zimmermann S, Sentenac H, Plassard C (2009) Two differentially regulated phosphate transporters from the symbiotic fungus *Hebeloma cylindrosporum* and phosphorus acquisition by ectomycorrhizal *Pinus Pinaster*. *Plant J.* 57, 1092-1102.
- Tewksbury JJ, Levey DJ, Haddad NM, Sargent S, Orrock JL, Weldon A, Danielson BJ, Brinkerhoff J, Damschen EI, Townsend P (2002) Corridors Affect Plants, Animals, and Their Interactions in Fragmented Landscapes. *Ecology*, 99 (20):1223-1226
- Thorne ME, Zamora BA, Kennedy CA (1999) Sewage sludge and mycorrhizal effects on secar bluebunch wheatgrass in mine spoil. *J Environ. Qual.*, 27: 1228-1233.
- Turnau K, Mesjasz-Przybyłowicz J (2003) Arbuscular mycorrhiza of *Berkheya coddii* and other Ni-hyperaccumulating members of Asteraceae from ultramafic soils in South Africa. *Mycorrhiza* 13, 185-190.
- Vieira RF, Maia AHN, Teixeira MA (2005) Inorganic nitrogen in a tropical soil with frequent amendments of sewage sludge. *Biology and Fertility of Soils*, 41: 273-279.
- Ward SC, Koch JM, Ainsworth GL (1996) The effect of timing of rehabilitation procedures on the establishment of a jarrah forest after bauxite mining. *Restoration Ecol.* 4, 19-24.

- Wilden R, Schaaf W, Hüttl R (1999). Soil solution chemistry of two reclamation sites in the Lusatian lignite mining district as influenced by organic matter application. *Plant and Soil*, 213: 231-240.
- Zongo C, Fogliani B, McGill CR, Saintpierre-Bonaccio D, Bouraïma-Madjèbi S (2008) Morphological adaptations and chemical composition of seeds of New Caledonian native plants used for mining revegetation. 9th ISSS Conference on Seed Biology, Olsztyn, Poland, 6-11 juillet.

VIII.2. CV du responsable du projet

NOM :	AMIR Hamid
DATE DE NAISSANCE :	26 décembre 1955
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Ecologie microbienne des sols, interactions bactéries/métaux, champignons mycorrhiziens à arbuscules.
ADRESSE :	Laboratoire Insulaire du Vivant et de l' Environnement (LIVE) , EA 4243, Université de la Nouvelle-Calédonie, BP R4, 98851 Nouméa cedex, Nouvelle-Calédonie Tel. 687 26 58 20, Fax: 687 25 48 29
TITRES ET DIPLOMES :	Habilitation à Diriger des Recherches: Université de Rennes 1, 2003. Doctorat d'Etat en écologie microbienne, Université d'Alger, 1991.
STATUT PROFESSIONNEL :	Professeur des Universités en microbiologie, (section 68), Université de la Nouvelle-Calédonie
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
Amir H, Jasper DA, Abbott LK (2008) - Tolerance and induction of tolerance to Ni of arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soils. <i>Mycorrhiza</i> 19:1-6.	
Amir H, Perrier N, Rigault F, Jaffré T (2007) - Relationships between Ni-hyperaccumulation and mycorrhizal status of endemic plant species from New Caledonian ultramafic soils. <i>Plant soil</i> 293: 23-35.	
Perrier N, Amir H, Colin F (2006) - Occurrence of mycorrhizal symbioses in the metal rich ultramafic soils of the Koniambo Massif, New Caledonia. <i>Mycorrhiza</i> 16:449-458.	
Saintpierre-Bonnaccio D, Amir H, Pineau R, Tan AGY, Goodfellow M (2005) - <i>Amycolatopsis plumensis</i> , a novel actinomycete isolated from a New Caledonian ultramafic soil. <i>Int J System Evol Microbiol</i> 55:2057-2061.	
Amir H, Pineau R (2003) - Release of Ni and Co by microbial activity in New Caledonian ultramafic soils. <i>Can J Microbiol</i> 49:288-293.	
RESPONSABILITÉS :	
Directeur du LIVE, élu au Conseil d'administration de l'UNC et au Conseil de l'Ecole Doctorale UNC/UPF, responsable du DEUST "Revégétalisation et Gestion de l'Environnement Minier".	
DIVERS :	

VIII.3. CV de chaque membre de l'équipe

NOM :	FOGLIANI Bruno
DATE DE NAISSANCE :	25 février 1972
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Biologie végétale appliquée, en particulier dans le domaine des semences
ADRESSE :	Laboratoire Insulaire du Vivant et de son Environnement (L.I.V.E), EA 4243, Université de la Nouvelle-Calédonie, BP R4, 98851 Nouméa cedex, Nouvelle-Calédonie Tel. 687 26 67 47, Fax: 687 25 48 29
TITRES ET DIPLOMES :	Habilitation à Diriger des Recherches , Université de Provence (2008). Doctorat en Physiologie végétale et Phytochimie, Université de la Nouvelle-Calédonie (2002).
STATUT PROFESSIONNEL :	Maître de Conférence en Biologie végétale appliquée au sein du LIVE, UNC.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
<u>Fogliani B</u>, Bouraïma-Madjèbi S, Medevielle V, Pineau R (2004) - Methods to promote germination of two Cunoniaceae species, <i>Cunonia macrophylla</i> and <i>Geissois pruinosa</i> from New Caledonia. <i>Seed Sci Technol</i> 32(3):703-715. Fourquin C, Vinauger-Douard M, <u>Fogliani B</u>, Dumas C, et al. (2005). Evidence that CRABS CLAW and TOUSLED have conserved their roles in carpel development since the ancestor of the extant angiosperms. <i>P Natl Acad Sci Usa</i> 102 (12):4649-4654. Léon V, <u>Fogliani B</u>, Bouraïma-Madjèbi S, Pineau R (2006). Effects of Nickel on growth and nutrient concentrations in a serpentine endemic cunoniaceae. <i>J Plant Nutr</i> 29:219-234. <u>Fogliani B</u>, Fortune Hopkins HC, Bouraïma-Madjèbi S, Medevielle V, (2009). Morphological development of <i>Geissois pruinosa</i> (Cunoniaceae) from seed to adult, and the expression of plesiomorphic characters in seedling. <i>Flora</i> 204 (1): Rabier J, Laffont-Schwob I, Notonier R, <u>Fogliani B</u>, et al. (2008). Anatomical element localization by EDXS in <i>Grevillea exul</i> var. <i>exul</i> under nickel stress. <i>Environ Pollut</i> 156 :1156–1163.	
RESPONSABILITÉS :	
Responsable de la première promotion du DEUST Revégétalisation et Gestion de l'Environnement Minier de l'Université de la Nouvelle-Calédonie Directeur de thèse de M. Charly Zongo et de M. Adrien Wulff (co-direction IAC) Direction et co-direction scientifique de stagiaires de niveau master Membre élu depuis près de 10 ans du conseil scientifique de l'UNC	
DIVERS :	
Membre de l'International Seed Science Society (ISSS) Membre de la Society of Conservation Biology (SCB)	

NOM :	CAVALOC Yvon
DATE DE NAISSANCE :	17 juillet 1968
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Biologie Moléculaire – Symbiotes racinaires
ADRESSE :	Université de la Nouvelle-Calédonie, 145, Av James Cook, BP R4 98851 NOUMEA Cedex cavaloc@univ-nc.nc Tel. 687 26 58 25 / Fax: 687 25 48 29
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Biologie Moléculaire. Université Louis Pasteur, Strasbourg (1995)
STATUT PROFESSIONNEL :	Maître de Conférences en Biologie Cellulaire et Moléculaire, UNC.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Cavaloc Y, Bourgeois C, Kister L et Stévenin J (1999) The splicing factors 9G8 and SRp20 transactivate splicing through different and specific enhancers. RNA, 5, 468-483. • Lejeune F, Cavaloc Y et Stévenin J (2001) Alternative splicing of intron 3 of the SR protein 9G8 gene: identification of flanking exonic splicing enhancers and involvement of 9G8 as a trans-acting factor. J. Biol. Chem., 276, 7850–7858. • De Pontbriand A, Wang XP, Cavaloc Y, Mattei MG et Galibert F (2002) Synteny comparison between apes and human using fine-mapping of the genome. Genomics, 80, 395-401.	
Brevet :	
• Galibert F et Cavaloc Y (2000) Method for mapping a DNA molecule comprising an ad infinitum amplification step. Publication “World Patent Office” n°WO0061798 - “Cartographie Génomique” - 19 Octobre 2000.	
RESPONSABILITÉS :	
DIVERS :	

NOM :	PAGAND Pascal
DATE DE NAISSANCE :	21 septembre 1969
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Hydrologie, valorisation des déchets organiques solides
ADRESSE :	Université de la Nouvelle-Calédonie, LIVE – EA 4243, BP R4, 98851 Nouméa cedex Tel. : +687 26 68 91, Mob. : +687 77 56 59, Fax. : +687 26 32 72
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Hydrologie (Sciences de l'eau et aménagement). Université de Montpellier I (1999).
STATUT PROFESSIONNEL :	Maître de conférences en écologie appliquée, UNC .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Metaxa, P. Deviller, G. Pagand, P. Alliaume, C. Casellas, C., Blancheton J.P. 2006. High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: Water purification and fish health. Aquaculture 252 : 92-101. • Pagand, P., Blancheton, J.P. et Casellas, C., 2000. A model for predicting the quantities of dissolved inorganic nitrogen released in effluents from a sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) recirculating water systems. Aquaculture Engineering 22 : 137-153. • Pagand, P., Blancheton, JP., Lemoalle, J. et Casellas, C. 2000. Use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. Aquaculture research 31 : 729-736.	
RESPONSABILITÉS :	
DIVERS :	
Membre de l'International Water Association (IWA) Membre de l'American Society of Agronomy (ASA) Correcteur pour la revue « Aquaculture »	

NOM :	JOURAND Philippe
DATE DE NAISSANCE :	16 Juin 1966
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Interactions symbiotiques plantes-microorganismes (bactéries et champignons) : biologie, écologie, biochimie et biologie moléculaire.
ADRESSE :	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM / UMR 113 Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 07 69, Fax: 687 26 42 26
TITRES ET DIPLOMES :	• Doctorat de Biologie Intégrative, Université Montpellier II (2003). • Ingénieur Biochimiste INSA, INSA de Lyon (1990).
STATUT PROFESSIONNEL :	Ingénieur de Recherche (IR), IRD .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Renier A., Jourand P., Rapior S., Poinot V., Sy A., Dreyfus B. & Moulin L. 2008. Symbiotic properties of <i>Methylobacterium nodulans</i> ORS 2060T: a classic process for an atypical symbiont. <i>Soil Biology Biochemistry</i> 40:1404-1412. • Jourand P., Renier A., Rapior S., Mania de Faria S., Prin Y., Galiana A., Giraud E & Dreyfus B. 2005. Role of methylotrophy during symbiosis between <i>Methylobacterium nodulans</i> and <i>Crotalaria podocarpa</i>. <i>Molecular Plant-Microbe Interactions</i> 18:1061-1068. • Giraud E., Hannibal L., Fardoux J., Jaubert M., Jourand P., Dreyfus B., Sturgis J. N. & Verméglio A. 2004. Two distinct crt gene clusters for two different functional classes of carotenoid in <i>Bradyrhizobium</i>. <i>Journal of Biological Chemistry</i> 279:15076-15083. • Jourand P., Giraud E., Bena G., Sy A., Willems A., Gillis M., Dreyfus B. & De Lajudie P. 2004. <i>Methylobacterium nodulans</i> sp. nov., for a group of aerobic, facultatively methylotrophic, legume root-nodule-forming and nitrogen-fixing bacteria International. <i>Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology</i> 54:2269-2273. • Sy A., Giraud E., Jourand P., Garcia N., Willems A., De Lajudie P., Prin Y., Neyra N., Gillis M., Masson-Boivin C. & Dreyfus B. 2001. A group of <i>Methylobacterium nodulans</i> and fixes nitrogen in symbiosis with leguminous plant. <i>Journal of Bacteriology</i> 183:214-220.	
RESPONSABILITÉS :	
DIVERS :	

NOM :	MAJOREL-LOULERGUE Clarisse
DATE DE NAISSANCE :	3 Septembre 1969
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Biologie moléculaire, biochimie des plantes et des ectomycorhizes tropicales.
ADRESSE :	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes UMR 113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2 et IAC). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 07 69, Fax: 687 26 42 26.
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Microbiologie et biologie Moléculaire, Université René Diderot Paris 7 (1998).
STATUT PROFESSIONNEL :	Ingénieur d'étude (IE2), IRD .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Millevoi, S ; Loulergue-Majorel, C ;, Tam, J ; Routledge, S ; Karaa, Z ; Antoniou, M and Vagner, S. An interaction between U2AF 65 and CFI (m) links the splicing and 3' end processing machineries EMBO J.2006 Oct, 18; 25(20) • Millevoi, S; Decorsière, A; Majorel-Loulergue, C; Iacovoni, J; Bernat, S; Antoniou, Ml; Vagner, S. A physical and functional link between splicing factors promotes pre-mRNA 3' end processing, NAR-00826-2009.	
RESPONSABILITÉS :	
Ingénieur dédié de la plate-forme du vivant de Nouvelle-Calédonie « PFV-NC »	
DIVERS :	

NOM :	HANNIBAL Laure
DATE DE NAISSANCE :	16 juillet 1963
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Microbiologie, Biologie Moléculaire.
ADRESSE :	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes UMR 113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2 et IAC). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 07 74, Fax: 687 26 42 26.
TITRES ET DIPLOMES :	Baccalauréat F7 Biologie (option biochimie) 1980.
STATUT PROFESSIONNEL :	Assistant Ingénieur, IRD.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Vuillet, L., Kojadinovic, M., Zappa, S., Jaubert, M., Adriano, J.M., Fardoux, J., Hannibal, L., Pignol, D., Verméglio, A. and Giraud, E. (2007) Evolution of a bacteriophytochrome from light to redox sensor. <i>The EMBO Journal</i>: 6(14):3322-31 • Giraud E., Moulin L., D. Vallenet, V. Barbe, E. Cytryn, J-C. Avarre, M. Jaubert, D. Simon, F. Cartieaux, Y. Prin, G. Bena, L. Hannibal, J. Fardoux, M. Kojadinovic, L. Vuillet, A. Lajus, S. Cruveiller, Z. Rouy, S. Mangenot, B. Segurens, C. Dossat, W. L. Franck, W-S. Chang, E. Saunders, D. Bruce, P. Richardson, P. Normand, B. Dreyfus, D. Pignol, G. Stacey, D. Emerich, A. Vermeglio, C. Medigue, And M. Sadowsky. (2007). Legumes Symbioses: Absence of Nod Genes in Photosynthetic Bradyrhizobia. <i>Science</i> 316: 1307-1312 • Giraud E, Zappa S, Jaubert M, Hannibal L, Fardoux J, Adriano J-M, Bouyer P, Genty B, Pignol D and , Vermeglio A (2004) Bacteriophytochrome and regulation of synthesis of the photosynthetic apparatus in <i>Rhodospseudomonas palustris</i>: pitfalls of using laboratory strains. <i>Photochemical and Photobiological Sciences</i>.3: 587-591 • Hannibal L, Lorquin J, Angles d'Ortoli N, Garcia N, Chaintreuil C, Masson-Boivin C, Dreyfus B et Giraud E. (2000) Isolation and characterization of canthaxantin biosynthesis genes from the photosynthetic <i>Bradyrhizobium</i> sp. strain ORS 278. <i>Journal of bacteriology</i>, 182 : 3850-3853. • Giraud E, Hannibal L, Fardoux J, Vermeglio A, Dreyfus B (2000) Effect of <i>Bradyrhizobium</i> photosynthesis on stem nodulation of <i>Aeschynomene sensitiva</i>. <i>The Proceedings of National Academy of Sciences USA (PNAS)</i> 26 : 14795-14800.	
RESPONSABILITÉS :	
DIVERS :	

NOM :	DUCOUSSO Marc
DATE DE NAISSANCE :	8 Novembre 1961
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Microbiologiste et mycologue spécialiste des endo et des ectomycorhizes tropicales.
ADRESSE :	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes UMR 113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2 et IAC). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 07 74, Fax: 687 26 42 26.
TITRES ET DIPLOMES :	• Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Montpellier II, Ecole doctorale SIBAGHE (2007). • Doctorat en Microbiologie et Écologie microbienne. Université Claude Bernard, Lyon I (1990)
STATUT PROFESSIONNEL :	Cadre Scientifique en contrat à durée indéterminée (CDI) avec le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), 42 rue Scheffer, 75116 Paris.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Ducoussou M, Ramanankierana H, Duponnois R, <i>et al.</i> (2008) - New Phytol 178:233–238. • Ramanankierana N, Ducoussou M, Rakotoarimanga N, <i>et al.</i> (2007) - Mycorrhiza 17:195-208. • Abbas Y, Ducoussou M, Abourouh M, <i>et al.</i> (2006) - An For Sci 63:285-291. • Ducoussou M, Galiana A, Chaix G, <i>et al.</i> (2004) –Eur J Soil Biol 40:105-111. • Ducoussou M, Bourgeois C, Buyck B, <i>et al.</i> (2004) – Mol Ecol 13:231-236.	
RESPONSABILITÉS :	
DIVERS :	
Président fondateur de la Société Mycologique de Nouvelle-Calédonie (www.smnc.nc)	

NOM :	LEBRUN Michel
DATE DE NAISSANCE :	19 Septembre 1955
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	biologie moléculaire, biochimie des plantes et des ectomycorhizes tropicales.
ADRESSE :	Équipe « Adaptation et Ultramafisme », Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes UMR 113 (Cirad/IRD/Inra/Agro-M/UM2 et IAC). Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 07 74, Fax: 687 26 42 26.
TITRES ET DIPLOMES :	Habilitation à Diriger des Recherches , Université Joseph Fourier, Grenoble (1994). Doctorat en Biologie Cellulaire et Moléculaire, Université Joseph Fourier, Grenoble (1984).
STATUT PROFESSIONNEL :	Professeur, Université Montpellier2, en détachement IRD.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Lacombe E, Cossegal M, Mirouze M, Adam T, Varoquaux F, Loubet S, Piffanelli P, Lebrun M, Berthomieu P (2008) - Plant Sci 174:634–640. • Gendre D., Czernic P., Conéjéro G., Pianelli K., Briat J-F., Lebrun M. and Mari S. (2007) - Plant J 49:1-15. • Mari S., Gendre D., Pianelli K., Ouerdane L., Lobinski R., Briat J-F., Lebrun M. and Czernic P. (2006) - J Exp Bot 57:4111-4122. • Pianelli K, Mari S., Marquès L., Lebrun M. and Czernic P. (2005) - Transg Res 14:739-748. • Marques L., Cossegal M., Bodin S., Czernic P. and Lebrun M. (2004) - New Phytol 164:289-296.	
RESPONSABILITÉS :	
Directeur UMR113 Coordination Projets : ANR Ultrabio, MO	
DIVERS :	
Membre CoNR28	

NOM :	L'HUILLIER Laurent
DATE DE NAISSANCE :	1 ^{er} Novembre 1963
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Biologiste végétal, écologie des milieux miniers, relations sol – plante.
ADRESSE :	Axe 2 Institut Agronomique néo-Calédonien, IAC, B.P. 73, 98890 Païta, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 41 16 74, Fax. 687 43 74 16. email: lhuillier@iac.nc
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Physiologie végétale. Université Montpellier II (1994).
STATUT PROFESSIONNEL :	Cadre Scientifique en contrat à durée indéterminée (CDI) avec l'Institut Agronomique néo-Calédonien (IAC) - Directeur adjoint.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• L'Huillier L. and Edighoffer S. 1996. Extractability of nickel and its concentration in cultivated plants in Ni rich ultramafic soils of New Caledonia. Plant and Soil 186: 255-264. • L'Huillier L. 2007. Assessment of soil seed banks for rehabilitation of nickel mines in New Caledonia. Congrès « Seed Ecology », Perth (Australie), 10-13 septembre 2007. • Wulff A., L'Huillier L., Vea C., Tassin J. (2008). Caractéristiques germinatives de graines d'espèces indigènes candidates à la restauration des sites ultramafiques dégradés de Nouvelle-Calédonie. Ed. IAC, convention SYSMIN 8e FED, 91 p. • Lagrange A., Rigault F., L'Huillier L., Derroire G., Chardon D., Ambrosi J.P. (en prép). Phytosociology and soil relationships on an ultramafic sequence of Mont Dore massif South-west of New-Caledonia.	
RESPONSABILITÉS :	
Responsable projet IAC-Sysmin (8 ^e FED) sur la restauration des sites miniers. Membre CSI du CNRT. Co-encadrement thèses en cours A. Lagrange et A. Wulff.	
DIVERS :	

NOM :	MAGGIA Laurent
DATE DE NAISSANCE :	19 Mars 1958
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Génétique des populations, écologie moléculaire des formations végétales tropicales terrestres.
ADRESSE :	IAC-Axe II, Centre IRD de Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle-Calédonie. Tel. 687 26 08 06, Fax: 687 26 42 26.
TITRES ET DIPLOMES :	• Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Antilles-Guyane, Biologie, Médecine Santé (2005). • Doctorat en Génétique des populations et évolution. Université Paris 7 (1991).
STATUT PROFESSIONNEL :	Cadre Scientifique en contrat à durée indéterminée (CDI) avec le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) , 42 rue Scheffer, 75116 Paris
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Lhuillier E, Broucke A, Vaillant A, Maggia L (2009) In Proceedings of 11th Pacific Science Intercongress 2009, Tahiti – Polynésie française. • Majorel-Loulergue C, Maggia L, Wabete N, Goarant C, Lebrun M, Amir H et Angue JC (2009) In Proceedings of 11th Pacific Science Intercongress 2009, Tahiti _ Polynésie française. • Hardy O, Maggia L, Bandou E, Breyne P, Caron H, Chevallier M-H, Doligez A, Dutech C, Kremer A, Latouche-Hallé C, Troispoux V, Veron V, Degen B (2006). Molecular Ecology, 15, 559-571. • Degen B, Blanc L, Caron H, Maggia L, Kremer A and S Gourlet-Fleury (2006). Biological conservation, 131 (3), 386-401. • Dutech C, Maggia L, Tardy C, Joly H I and Jarne P. (2003) Tracking a genetic signal of extinction-recolonization events in a neotropical tree species: Voucapoua americana Aublet in French Guiana. Evolution, 57 (12), 2753-2764.	
RESPONSABILITÉS :	
Co-pilotage de la « Plate-forme du vivant de Nouvelle-Calédonie » Coordination de projet	
DIVERS :	
Administrateur élu au conseil d'administration du Cirad	

NOM :	BRUN-JACOB Annick
DATE DE NAISSANCE :	17 juin 1964
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Physiologie moléculaire de la nutrition des symbioses ectomycorhiziennes.
ADRESSE :	Équipe "Ecogénomique des Interactions", UMR 1136 INRA-UHP "Interactions Arbres/Micro-Organismes", IFR110, EFABA (Ecosystèmes Forestiers, Agroressources, Bioprocédés et Alimentation), INRA-Nancy, 54280 Champenoux (France). Tel.: (+33) 383 39 42 24, Fax: (+33) 383 39 40 69.
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat d'Université en Biologie et Physiologie Végétale. Université Henri Poincaré, Nancy Université (1992).
STATUT PROFESSIONNEL :	Maître de Conférences depuis le 1er septembre 1999 à l'Université Henri Poincaré, Nancy Université.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Lucic E, Fourrey C, Kohler A, Martin F, Chalot M, Brun-Jacob A (2008) - New Phytol 180 (2): 343-364. • Martin F, Aerts A, Ahrén D, Brun A, <i>et al.</i> (2008) - Nature 452: 88-92 • Couturier J, Montanini B, Blaudez D, Martin F, Brun A, Chalot M (2007) - New Phytol 174: 137-151. • Chalot M, Blaudez D, Brun A (2006) - Trends in Plant Sciences 11: 263-266. • Tuskan GA, Difazio S, Jansson S, Bohlmann J, Grigoriev I, Hellsten U, Putnam N, Ralph S, Rombauts S, Salamov A, Schein J, Sterck L, Aerts A, Bhalerao RR, Bhalerao RP, Blaudez D, Boerjan W, Brun A, <i>et al.</i> (2006) - Science 313:1596-604.	
RESPONSABILITÉS :	
Expériences de coordination	
<u>2000-2002:</u> Coordinateur: Dr A. Brun - Projet "Jeune chercheur" Université/Région-Lorraine. Thème: Utilisation efficace de l'azote dans l'écosystème Forestier: rôle des champignons ectomycorhiziens dans la régulation de l'absorption et de l'assimilation de l'azote. <u>2002-2005:</u> Coordinateur pour l'équipe universitaire : Dr A. Brun - Projets collaboratifs de l'unité 1136 INRA/UHP. Thèmes: 1) Identification par filtres à ADNc, de gènes différentiellement exprimés lors du fonctionnement de la symbiose ectomycorhizienne <i>Populus sp./Paxillus involutus</i>. 2) Etude de l'expression <i>in situ</i> de gènes marqueurs. <u>2003-2005:</u> Coordinateur pour la composante universitaire : Dr A. Brun - Projet de l'Institut Français de la Biodiversité (IFB). - Effet de substitutions d'essence et de l'augmentation en CO₂ de l'atmosphère sur les communautés microbiennes intervenant dans le fonctionnement d'un écosystème forestier.». Coordinateur: Dr F. MARTIN.	

2006-2008: Coordinateur pour la composante universitaire : Dr A. Brun - Projet MICROGER. Programme ECOGER « Effet des pratiques de gestion et des modes d'aménagement agricoles et sylvicoles sur les communautés microbiennes intervenant sur la fertilité des sols ». Coordinateur: Dr F. MARTIN

Responsabilités administratives et de recherche

Responsable d'unité d'enseignement à Nancy Université : Licence LSV, Master 2R FAGE et Microbiologie et co-responsable du M1 Master Microbiologie.

Membre élu (corps des Maîtres de conférences) de la CS mixte 66/69^{ème} sections (UHP Nancy Université), de 2004 à 2008.

Membre élu du Conseil de l'UFR STB (UHP Nancy Université) depuis décembre 2005.

Direction et co-direction scientifique de doctorants et stagiaires

Participation à plusieurs jurys de thèses

Membre de plusieurs consortia : *Laccaria Genome Consortium* (2005-2009), *Tuber Genome Consortium* (2006-2009)

Participation au comité d'organisation de plusieurs congrès nationaux et internationaux.

Membre du comité scientifique et du comité local d'organisation des "Journées Jean Chevaugéon" Phytopathologie et société française de mycologie, Aussois.

Lecteur-arbitre de plusieurs journaux scientifiques.

DIVERS :

NOM :	KOHLER Annegret
DATE DE NAISSANCE :	6 Mars 1966
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Biologie moléculaire, Interactions plantes-micro-organismes, Génomique, Transcriptomique
ADRESSE :	UMR INRA/Université Henri Poincaré 1136, Interactions Arbres/Micro-organismes, Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux, France Tel. 0383 394072, Fax: 0383 394069.
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Biologie Végétale. Thèse soutenue à l'Université de Kaiserslautern/Allemagne (1996).
STATUT PROFESSIONNEL :	Ingénieur de recherche (IR2), INRA .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Deveau A, Kohler A, Frey-Klett P, Martin F. 2008 New Phytol. (2008) New Phytol 180(2):379-90 • Morel M, Kohler A, Martin F, Gelhaye E, Rouhier N (2008) New Phytol 180(2):391-407 • Martin F, Aerts A, Ahrén D, Brun A, Danchin EG, Duchaussoy F, Gibon J, Kohler A, <i>et al.</i> (2008) Nature Mar 6;452(7183):88-92 • Kohler A, Rinaldi C, Duplessis S, <i>et al</i> (2008) Plant Mol Biol Apr;66(6):619-36 • C. Rinaldi, A. Kohler <i>et al</i> (2007) Plant Physiol	
RESPONSABILITÉS :	
Responsable du plateau technique écogénomique d'UMR 1136	
DIVERS :	

NOM :	MARTIN Francis
DATE DE NAISSANCE :	12 octobre 1954
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Ecologie, Physiologie des interactions arbres/microorganismes.
ADRESSE :	Équipe "Ecogénomique des Interactions", UMR 1136 INRA-UHP "Interactions Arbres/Micro-Organismes", IFR110, EFABA (Ecosystèmes Forestiers, Agroressources, Bioprocédés et Alimentation), INRA-Nancy, 54280 Champenoux (France). Tel.: (+33) 383 39 42 24, Fax: (+33) 383 39 40 69.
TITRES ET DIPLOMES :	• Doctorat de 3ème cycle en Physiologie et Biochimie Végétales, , Université de Nancy I (1982) • Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles de l'Université de Paris-Sud Orsay (1986)
STATUT PROFESSIONNEL :	Directeur de Recherches 1 ^{ère} classe INRA , UMR1136.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	• MARTIN F <i>et al.</i> (2008) Nature 452: 88-92. • MARTIN F, SELOSSE MA (2008) New Phytologist 180: 379-390. • PETER M <i>et al.</i> (2003) New Phytologist 159: 117-129 • DUPLESSIS <i>et al.</i> (2005) New Phytologist 165: 599-611 • TUSKAN <i>et al.</i> (2006) Science 313, 1596-1604
RESPONSABILITÉS :	Responsable de l'Equipe d'<i>Ecogénomique des Interactions</i> (2009-) • Directeur de l'UMR INRA-UHP 1136 « <i>Interactions Arbres/Micro-organismes</i> » (2001-2004, 2005-2008) • Directeur de l'Equipe de <i>Microbiologie Forestière</i> (01/09/97 au 01/01/01)- Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France • Coordinateur du <i>Laccaria Genome Consortium</i> (2005-2009) • Coordinateur du <i>Melampsora Genome Consortium</i> (2006-2009) • Coordinateur du <i>Tuber Genome Consortium</i> (2006-2009) • Co-Coordinateur du <i>Paxillus Genome Consortium</i> (2007-2009) • Membre du comité de rédaction (Section Editor) du journal <i>The New Phytologist</i> • Membre du comité de rédaction (Associate editor) du journal <i>Fungal, Biology & Genetics</i>
DIVERS :	

NOM :	MORIN Emmanuelle
DATE DE NAISSANCE :	21 Janvier 1976
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Bioinformaticienne
ADRESSE :	Équipe « Ecogénomique des interactions », UMR 1136 Interactions Arbres/Microorganismes (Inra/UHP), IFR 110, EFABA (Ecosystèmes Forestiers, Agroressources, Bioprocédés et Alimentation). Centre INRA de Nancy, route d'Amance, 54280 Champenoux Tel. 03 83 39 41 33, Fax: 03 83 39 40 69.
TITRES ET DIPLOMES :	DESS Informatique Double Compétence. Université Henri Poincaré, Nancy I (2001).
STATUT PROFESSIONNEL :	Ingénieur d'études, INRA .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Morales J, Mulner-Lorillon O, Cosson B, Morin E, <i>et al.</i> (2006) – Dev Biol 300 :293-307 • Quignon P, Giraud M, Retout E, Morin E, <i>et al.</i> (2005) – JOBIM 2005, 81-87 • Giraud M, Quignon P, Morin E, <i>et al.</i> (2005) – Genome Biol 6(10):R83.	
RESPONSABILITÉS :	
Responsable de la plateforme bioinformatique de l'UMR	
DIVERS :	

NOM :	ECHEVARRIA Guillaume
DATE DE NAISSANCE :	14 avril 1971
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Disponibilité des ETM dans les sols, cycles biogéochimiques des ETM dans les sols ultramafiques, phytoextraction du Ni.
ADRESSE :	Équipe « Phytoremédiation des sols pollués - LSE », Laboratoire Sols et Environnement UMR 1120 (Nancy-Université INPL-INRA). 2 Avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy CEDEX. Tel. 03 83 59 57 92, Fax: 03 83 59 57 91.
TITRES ET DIPLOMES :	• Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole doctorale RP2E (Décembre 2006). • Doctorat en Sciences Agronomiques. INPL (1996).
STATUT PROFESSIONNEL :	Professeur en Biogéochimie des Sols à l'ENSAIA (INPL) .
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Echevarria G., Massoura S., Sterckeman T., Becquer T., Schwartz C. et Morel J.L. 2006. Assessment and control of the bioavailability of Ni in soils. Environ. Toxicol. and Chem. 25, 643-651. • Massoura S., Echevarria G., Becquer T., Ghanbaja J., Leclerc-Cessac E. et Morel J.L. 2006. Nickel bearing phases and availability in natural and anthropogenic soils. Geoderma 136, 28-37. • Bani A., Echevarria G., Sulçe S., J. L. Morel, Mullai A. 2007. In-situ phytoextraction of Ni by a native population of Alyssum murale on an ultramafic site (Albania), Plant Soil, 293, 79-89. • Reeves R.D., Baker A.J.M., Becquer T., Echevarria G. et Miranda Z.J.G. 2007. The flora and biogeochemistry of the ultramafic soils of Goiás state, Brazil. Plant Soil, 293, 107-119. • Garnier J., Quantin C., Echevarria G. et Becquer T. 2009. Assessing chromate availability in tropical ultramafic soils using isotopic exchange kinetics. Journal of Soils and Sediments, publié en ligne (doi 10.1007/s11368-009-0062-4).	
RESPONSABILITÉS :	
Co-animateur de l'équipe phytoremédiation du LSE	
Co-responsable d'un projet PROTEA sur l'hyperaccumulation de Ni par les Astéracées d'Afrique du Sud « Nickaster ».	
Co-responsable du projet «Cycle phytogéochimique des métaux dans les différents milieux du Cerrado : Caractérisation de la biodisponibilité et des mécanismes de tolérance et d'accumulation de l'Al et du Ni par les espèces natives » – Macroprogramme 2 - EMBRAPA (Brésil)	
DIVERS :	
Responsable du Master Ingénierie du Développement Durable de l'INPL (Nancy-Université).	

NOM :	MONTARGES-PELLETIER Emmanuelle
DATE DE NAISSANCE :	3 Décembre 1969
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Physicochimie des Colloïdes, Minéralogie, Spéciation des ETM
ADRESSE :	Laboratoire Environnement et Minéralurgie, CNRS – 15 avenue du Charmois 54500 Vandoeuvre les Nancy, France Tel. 33 (0)3 83 59 62 52, Fax: 33 (0)3 83 59 62 55
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Géosciences de l'Environnement, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy (1997).
STATUT PROFESSIONNEL :	Chargée de Recherche au Centre National de la Recherche Scientifique , Délégation Régionale Centre Est, 17 Rue Notre Dame des Pauvres BP 10075, 54519 Vandoeuvre les Nancy, France
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• 2003 Vantelon D., Montargès-Pelletier E., Michot L.J., Briois V., Pelletier M., Barrès O., Thomas F. Iron distribution in the octahedral sheet of montmorillonite clays. 1. An Fe K edge X ray absorption spectroscopy study. <i>Physics and Chemistry of Minerals</i>, 30, pp 44-53. • 2005 Montargès-Pelletier E., Bogenez S., Pelletier M., Razafitianamaharavo A., Ghanbaja J., Lartiges B., Michot L.. Synthetic allophane-like particles : textural properties. <i>Colloids and Surfaces A.</i>, 255, 1-10. • 2006 Jeanneau L., Faure P., Montargès-Pelletier E., Ramelli, M. Impact of a highly contaminated river on a more important hydrologic system: Changes in organic markers. <i>The Science of the Total Environment</i>, 372, 1, 183-192. • 2007 Montargès-Pelletier, E., Jeanneau L., Faure P., Bihannic I., Barres O., Lartiges B.S. The junction of Fensch and Moselle rivers, France. <i>Mineralogy and composition of river materials. Environmental Geology</i>, 53, 1, 85-102. • 2008 Montargès-Pelletier E., Chardot V., Echevarria G., Michot L.J., Bauer A., Morel J.-L., Identification of Nickel chelators in three hyperaccumulating plants. An X-ray spectroscopic study. <i>Phytochemistry</i>, 69, 1695-1709.	
RESPONSABILITÉS :	
Direction et animation de la Zone Atelier Moselle Membre élue de la section 20 « Surfaces et Interfaces Continentales » et de la commission Interdisciplinaire 45 « Dynamique des systèmes environnementaux, développement durable, santé et société » du Comité National de la Recherche Scientifique. Coordination d'un programme de recherche EC2CO-INSU 2008-2010. Responsable de deux Unités d'Enseignement pour le Master Planète, Ressources, Environnement	
DIVERS :	
Membre élue du Conseil de Laboratoire	

NOM :	THOMAS Fabien
DATE DE NAISSANCE :	12 octobre 1956
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Physico-chimie des colloïdes naturels, relations cristalochimie-propriétés de surface des minéraux, Phénomènes ioniques et électrostatiques aux interfaces, Mécanismes de déstabilisation colloïdale
ADRESSE :	Laboratoire Environnement et Minéralurgie, BP 40 – 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex. Tel. 03 83 59 62 91, Fax: 03 83 59 62 55.
TITRES ET DIPLOMES :	• Docteur d'Etat ès Sciences - Université de Nancy I (1987) • Docteur en Agro-éco-pédologie - Université Nancy I (1982)
STATUT PROFESSIONNEL :	Directeur de recherche CNRS , Laboratoire Environnement et Minéralurgie UMR 7569.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
PRODUCTION SCIENTIFIQUE: 85 publications de rang A, 44 publications de rang B 133 conférences en colloques internationaux et nationaux dont 15 invitées 21 programmes nationaux et internationaux 30 rapports de contrats	
• Duc M., Carteret C., Gaboriaud F., Thomas F. (2008) : Temperature effect on the acid-base properties of montmorillonite. J. Colloid Interf. Sci. 327 (2), 472-476 • Citeau L., Gaboriaud F., Elsass F., Thomas F., Lamy I. (2006) : Influence of organic coatings on surface properties of colloids of the soil solution. Colloids and Surfaces A. 287 (94-105) • Daou T. J., Begin-Colin S., Pourroy G., Thomas F., Grenèche J.M., Derory A., Bernhardt P., Legaré P. (2007) : Phosphate adsorbent properties of magnetite nanoparticles. Chemistry of materials. 19 (4494 – 4505) • Poinsignon C., Djurado E., Klein H., Strobel P., Thomas F. (2006) : Electrochemical and surface properties of nanocrystalline beta-MnO2 in aqueous electrolyte. Electrochimica Acta. 51 (3076-3095) • Labille J., Thomas F., Milas M., Van Haverbeke C. (2005) : Flocculation of colloidal clay by bacterial polysaccharides: effect of macromolecular charge and structure. J. Colloid Interf. Sci. 284 (149-156).	
RESPONSABILITÉS :	
Directeur du LEM Membre du Bureau du Conseil Scientifique de l'INPL	
DIVERS :	

NOM :	FAURE Pierre
DATE DE NAISSANCE :	20 Avril 1970
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Géochimiste organicien environnemental – Analyse de la matière organique.
ADRESSE :	UMR CNRS 7566 G2R « Géologie et gestion des ressources minérales et énergétique. Université Henri Poincaré, BP 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex. Tel. 03 83 68 47 40, Fax: 03 83 68 47 01.
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Géoscience. Institut Polytechnique de Lorraine (1999).
STATUT PROFESSIONNEL :	Chargé de recherche CNRS depuis 2001 affecté à l'UMR CNRS G2R 7566.
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• GALY V., FRANCE-LANORD C., BEYSSAC O., FAURE P., KUDRASS H., PALHOL F. (2007) Efficient organic carbon burial in the Bengal fan sustained by Himalayan erosional system. <i>Nature</i>, 450 (7168), 407-410. • JEANNEAU L., FAURE P., MONTARGES-PELLETIER E. (2008) Quantitative multimolecular marker approach to investigate the spatial variability of the transfer of pollution from the Fensch River to the Moselle River (France). <i>Science of Total Environment</i>, 389, 503-513. • BADIN A.L., FAURE P., BEDELL J.P., DELOLME C. (2007) Distribution of organic pollutants and natural organic matter in urban storm water sediments as a function of grain size. <i>Science of Total Environment</i>, 403, 178-187. • BIACHE C., MANSUY-HUAULT L., FAURE P., MUNIER-LAMY C. LEYVAL C. (2008) Effects of thermal desorption on the composition of two coking plant soils: Impact on solvent extractable organic compounds and metal bioavailability. <i>Environmental pollution</i>, 156, 671-677. • JEANNEAU L., FAURE P., MONTARGES-PELLETIER E. (2008) Evolution of the source apportionment of the lipidic fraction from sediments along the Fensch River, France : a multimolecular approach. <i>Science of Total Environment</i>, 398, 96-106.	
RESPONSABILITÉS :	
Partenaire du projet	
DIVERS :	
Animateur du groupe de travail « diagnostic » du GISFI « groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles »	

NOM :	QUANTIN Cécile
DATE DE NAISSANCE :	28 décembre 1974
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	biogéochimiste des sols.
ADRESSE :	UMR 8148 IDES, Université Paris Sud 11 – CNRS Bât. 504, 91405 ORSAY CEDEX. tel.: 01 69 15 49 40, fax.: 01 69 15 49 17. cecile.quantin@u-psud.fr.
TITRES ET DIPLOMES :	• Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris Sud 11, 2009. "Biogéochimie des sols et paramètres de contrôle de la mobilité et de la disponibilité des éléments dans les écosystèmes continentaux." • Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I en Science du Sol, "Incidence de la biodégradation des matières organiques sur le devenir des métaux et des contaminants organiques dans un sol nickelifère et un sédiment de rivière."
STATUT PROFESSIONNEL :	Maître de conférences
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	• Quantin C., Grunberger O., Suvannang N., Bourdon E. 2008. Land Management Effects on the Biogeochemical Functioning of Salt-Affected Paddy Soils, <i>Pedosphere</i>, 18, 2, 183-194 • Garnier J., Quantin C., Guimarães E., Becquer T., 2008. Can chromite weathering be a source of Cr in soils? <i>Mineralogical Magazine</i>, 72, 49-53. • Li Y.-T., Becquer T., Dai J., Quantin C., Benedetti M., 2009. Ion activity and speciation of heavy metals and their adsorption to hydrous oxides in acid mine drainage polluted subtropical soils, <i>Environmental Pollution</i>, 157, 1249-1257 • Garnier J., Quantin C., Echevarria G., Becquer T., 2009. Assessment of chromate availability in tropical ultramafic soils, <i>Journal of Soils and Sediments</i> (sous presse) • Garnier J., Quantin C., Guimarães E., Garg V.K., Martins E.S., Becquer T. Understanding the genesis of ultramafic soils and catena dynamics in Niquelândia, Brazil. <i>Geoderma</i> (sous presse)
RESPONSABILITÉS :	
	Vice présidente enseignement du département des sciences de la Terre, Univ. Paris Sud
DIVERS :	

NOM :	SAINTPIERRE Danielle
DATE DE NAISSANCE :	6 Octobre 1971
DOMAINE DE COMPÉTENCE :	Microbiologie et Revégétalisation de sites miniers.
ADRESSE :	SIRAS Pacifique, 16, rue Edouard GLASSER Motor Pool, BP 8173 Nouméa Cedex. Tel. 687 27 58 90, Fax: 687 26 90 08.
TITRES ET DIPLOMES :	Doctorat en Sciences des Agroressources. Institut National Polytechnique de TOULOUSE (2001)
STATUT PROFESSIONNEL :	Cadre 1 en contrat à durée indéterminée (CDI)
PUBLICATIONS RECENTES (5 max en abrégé) :	
• Saintpierre D, Amir H, Pineau R, Goodfellow M (2003) - Antonie van Leeuwenhoek 83:21-26 • Saintpierre-Bonaccio D, Amir H, Pineau R, Lemriss S, M. G (2004) - Int J Syst Evol Microbiol 54: 2061-2206 • Saintpierre-Bonaccio D, Maldonado LA, Amir H, Pineau R, Goodfellow M (2004) - Int J Syst Evol Microbiol 54: 99-603 • Saintpierre-Bonaccio D, Amir H, Pineau R, Tan GYA, Goodfellow M (2005) - Int J Syst Evol Microbiol, 55:2057-2061 • Saintpierre D. (2009) - Rapport d'étape, Direction du Développement Rural, convention N° C-142-06, 94p.	
RESPONSABILITÉS :	
Responsable du Pôle Recherche et Développement de SIRAS Pacifique	
DIVERS :	

VIII.4. Publications significatives de l'équipe

Publications significative de l'équipe ayant trait au projet (10 références max.) <i>Titres et références</i>
1. Amir H. , Pineau R. (2003) Release of Ni and Co by microbial activity in New Caledonian ultramafic soils. <i>Can. J. Microbiol.</i> 49, 288-293..
2. Perrier N., Amir H. , Colin F. (2006) - Occurrence of mycorrhizal symbioses in the metal rich ultramafic soils of the Koniambo Massif, New Caledonia. <i>Mycorrhiza</i> 16, 449-458.
3. Fogliani B. , Bouraïma-Madjèbi S., Medevielle V. and Pineau R. (2004) Methods to promote germination of two Cunoniaceae species, <i>Cunonia macrophylla</i> and <i>Geissois pruinosa</i> from New Caledonia. <i>Seed Sci. Tech.</i> 32, 703-715.
4. Fogliani B. , Hopkins HCF., Bouraïma-Madjèbi S., Medevielle, M., (2009) Morphological development of <i>Geissois pruinosa</i> (Cunoniaceae) from seed to adult, and the expression of plesiomorphic characters in seedling. <i>Flora</i> 204, 7-16.
5. Jourand P. , Ducousso M. , Reid R., Moulin L., Hannibal L. , Loulergue-Majorel C. and Lebrun M. (2009) Genetic variation and nickel tolerance in <i>Pisolithus albus</i> from New Caledonia, soumis pour publication (<i>Plant Soil</i>).
6. Degen B., Blanc L., Cavon H., Maggia L. , Kremer A., Sourley-Fleury S. (2006) Impact of selective logging on genetic composition and demographic structure of tropical tree species. <i>Biol. Conserv.</i> 131, 386-401.
7. L'Huillier L. (2007) Assessment of soil seed banks for rehabilitation of nickel mines in New Caledonia. In "Proceedings of the Seed Ecology II 2007 Conference, 9-13 September, Perth, Australia". Eds. S Turner, D Merritt, S Clarke, L Commander and K Dixon. pp 51. Kings Park and Botanic Garden, Perth, Australia
8. Li Y.-T., Becquer T., Dai J., Quantin C. , Benedetti M., 2009. Ion activity and speciation of heavy metals and their adsorption to hydrous oxides in acid mine drainage polluted subtropical soils, <i>Environmental Pollution</i> , 157, 1249-1257
9. Martin F. , Aerts A., Ahren D., Brun A., Danchin E.G.J. <i>et al.</i> (2008) The genome of <i>Laccaria bicolor</i> provides insights into mycorrhizal symbiosis. <i>Nature</i> 452, 88-92.
10. Echevarria G. , Massoura S., Sterckeman T., Becquer T., Schwartz C. et Morel J.L. 2006. Assessment and control of the bioavailability of Ni in soils. <i>Environ. Toxicol. Chem.</i> 25, 643-651.

VIII.5. Implications des personnes dans d'autres contrats

Sont résumées ici les principaux contrats ou conventions auxquels participent les principaux intervenants du présent projet :

- ANR Ultrabio (programme Biodiversité) 2008-2010: Amir H; Cavaloc Y.; Ducousso M.; Fogliani B.; Jourand P.; Lebrun M.; L'Huillier L.; Maggia L.; Majorel C. (occupe en moyenne 15 à 30% du temps des chercheurs)
- Conventions "Forêt Sèche" annuelles renouvelables selon nécessités: Amir H.; Ducousso

M.; Fogliani B.; Maggia L. (occupe entre 5 et 15% du temps des chercheurs)

- Convention SYSMIN (8^{ème} FED) : L'Huillier L. cette convention se termine fin 2009.
- Diverses conventions avec les entreprises minières ou de restauration écologique, variant selon les intervenants (faible pourcentage d'occupation des chercheurs, les travaux étant généralement réalisés par des stagiaires ou des doctorants).

