

II. Présentation du projet

« Séquestration du carbone et disponibilité des nutriments (phosphore et azote) des sols des différents agroécosystèmes dans le cadre de la REDD+ à Madagascar »

- Laboratoire des Radio-Isotopes-Université d'Antananarivo, Madagascar
- Unité Mixte de Recherche-UMR Eco&Sols, Montpellier, France
- Centre Technique et Horticole de Tamatave-CTHT, Tamatave, Madagascar
- Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement-GRENE-Université de Tamatave, Madagascar
- Office Nationale pour l'Environnement-ONE, Antananarivo, Madagascar

Laboratoire des Radio-Isotopes – Route d'Andraisoro – BP 3383 – Antananarivo 101.

Tél. : 00 261 20 24 161 03.

SiteWeb : www.laboradioisotopes.com

10 mois

La déforestation et le changement d'usage des sols constituent la seconde principale source d'émissions de carbone dans l'atmosphère via la destruction de la végétation, et principalement, via la minéralisation de la matière organique du sol. D'où les initiatives REDD-Réduction des Emissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts et l'agriculture intelligente face au changement climatique afin de réduire ces émissions, d'augmenter la capacité des puits, tout en essayant de favoriser une productivité pérenne et résiliente pour la sécurisation alimentaire. Toutefois, la réussite de ces initiatives nécessite la mise en connexion entre les recherches scientifiques entreprises et les activités de développement sur le terrain.

C'est dans ce sens que le présent projet recherche-action a été formulé. En effet, sa mise en œuvre va être assurée par des institutions de recherche et de développement rural et il a comme principal objectif la détermination de l'impact de la pression anthropique et du stress climatique sur le stockage et à la minéralisation de la matière organique du sol forestier et aussi sur la biodisponibilité des nutriments (N et P) dans différents systèmes agro écologiques (agroforesterie, SCV) de l'Ecorégion de l'Est de Madagascar. Les activités à développer incluent :i) les travaux de prélèvement de sol et analyse en laboratoire l'inventaire des stocks de carbone et de disponibilité des nutriments des sols des agroécosystèmes ; ii) les expérimentations en mésocosme en laboratoire simulant différents scénarii de variabilité climatique afin d'évaluer l'impact des stress thermiques et hydriques sur la respiration du sol. Parallèlement, les partenaires dans ce projet participeront à la création de plateformes scientifique et technique pour la consolidation du Comité Technique REDD-M en valorisant leurs expériences passées et les acquis au cours de ce projet. Le présent projet se veut donc d'apporter au niveau national et local des connaissances et des réponses sur le stockage de carbone et de disponibilité des nutriments des sols en termes d'atténuation et l'adaptation des agroécosystèmes malgaches au changement climatique.

Mots-Clés : carbone du sol, déforestation, agro écologie, fertilité du sol, stress climatique, dynamique des nutriments

Nom : RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina

Statut : Enseignante Chercheur au sein du Laboratoire des Radiosotopes

E-mail :

Téléphone : 00 261 33 12 367 34

2.1. L'initiative REDD+ et l'agroécologie à l'encontre du changement climatique

La déforestation et le changement d'usage des terres sont d'une importance dans le cadre du changement climatique puisqu'ils sont responsables d'environ 20% des émissions de carbone dans l'atmosphère (IPCC, 2007). Par conséquent, il s'avère incontournable de remédier à ces émissions en diminuant ces sources d'émissions tout en essayant de répondre au bien-être des populations locales et nationales. D'où l'émergence de la REDD+, une initiative à l'échelle internationale qui concernait principalement les terres forestières autrefois, mais dont l'évolution sur sa négociation entre les parties des Nations Unies tendent à considérer les autres problématiques, autres que forêts. Effectivement, pour répondre d'abord aux besoins du développement rural, ensuite à assurer la sécurisation alimentaire globale et d'assurer en même temps l'atténuation au changement climatique, des stratégies à large vision de REDD+ sont développées considérant toutes couvertures terrestres autour des terres forestières, entre autres : l'agroforesterie, les plantations forestières ainsi que les pratiques en agriculture de conservation (Van Noordwijk et al., 2009). Ainsi, il est indispensable de développer des recherches pour connaître les potentialités de ces usages des terres en termes de séquestration de carbone et de pérennisation de la fertilité du sol.

Pour le cas de Madagascar, il existe un certain nombre de projets pilotes dans le cadre de la REDD depuis 2004 (Busson et al., 2009) mais jusqu'à maintenant, la mise en oeuvre de cette initiative se heurte à plusieurs problèmes en raison du besoin d'approche intersectorielle. De même, plusieurs actions en faveur du développement des pratiques agro écologiques existent mais généralement réalisées à petite échelle et il reste encore beaucoup à considérer pour répondre aux critères de la fameuse agriculture intelligente face au climat. De l'autre côté, les connaissances sur la réponse des diverses pratiques agricoles au changement climatique restent aussi assez limitées, d'où le besoin de connaissances sur le carbone dans le domaine de l'agriculture de conservation. Le présent projet trouverait toute son importance en essayant d'apporter les réponses à ces besoins.

2.2. Les recherches développées pour faire face au changement climatique

Pour Madagascar, comme au niveau de la Région Océan Indien (OI), la prise en compte des éventuels impacts des changements climatiques (CC) est devenue une grande priorité. Dans le cadre de la REDD, beaucoup d'études ont été faites sur le carbone de la végétation aussi bien sur la mesure de la teneur de ce compartiment que sur l'évolution de ces stocks de carbone via le développement d'équations allométriques et l'utilisation des données des inventaires forestiers. Par contre, peu d'études sont encore effectuées sur la dynamique du carbone du sol post déforestation ainsi que de sa capacité à contribuer à l'évitement des émissions de carbone. Ceci est principalement dû en raison de la complexité du compartiment sol et aussi au manque de méthodologie standard ; à l'instar, un seul parmi les cinq projets pilotes a considéré le compartiment sol dans leurs activités et études.

Par ailleurs, Au niveau régional, la mise en place de l'IRACC (Initiative Régionale Agro Ecologie Changement climatique) en est la preuve. Le projet IRACC vise surtout à étudier le comportement des exploitations familiales paysannes au niveau de la région Océan Indien face au changement climatique. A l'échelle nationale diverses actions et recherches sur les divers agro écosystèmes et leurs pratiques sont recommandées pour répondre aux besoins de données et informations afin de pouvoir déterminer les meilleures stratégies **d'adaptation et d'atténuation**. A ce titre, il est à rappeler que les **pratiques agro écologiques, telles que l'agroforesterie et le semis direct sous couverture végétal** sont préconisées pour leur contribution à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique; ceci grâce à l'augmentation des stocks organiques des sols, l'augmentation durable de la productivité et du revenu, au renforcement de la résilience des agroécosystèmes au changement climatique et à leur variabilité, ainsi qu'à la réduction des émissions nettes de CO₂ (Razafimbelo et al., 2008). Ces pratiques agroécologiques sont reconnues comme une grande opportunité pour l'adaptation et donc mentionnée dans le document cadre sur l'adaptation au changement climatique à Madagascar (ou PANA / Policy Document for Climate Change in Adaptation and Mitigation Madagascar). Néanmoins, il existe encore peu d'études quantitatives pour l'évaluation de ces différentes pratiques agroécologiques sur l'augmentation effective des stocks de carbone des sols, de la biodisponibilité des nutriments, ou de la productivité agricole selon les contextes pédoclimatiques.

2.3. Travaux effectués par l'équipe dans la thématique proposée

Depuis 2003, le « sol » est le point central des différents travaux menés par le LRI et ses principaux partenaires : le FOFIFA (Centre Nationale de Recherche appliquée au Développement Rural) et l'UMR Eco&Sols de l'IRD. Si certaines études l'ont abordé sous un angle plutôt agronomique (productivité, cycles des nutriments), d'autres

l'ont abordé sous un angle environnemental (stockage et séquestration de GES, mais aussi fonctionnement biologique des sols). Jusqu'ici, les objectifs de recherche traités par les membres de l'équipe concernent les sols et leurs services dans les écosystèmes cultivés et naturels en essayant de comprendre les mécanismes régissant les flux de matières (carbone, azote et phosphore) entre sol et plante, et les utiliser afin d'optimiser la productivité agricole et contribuer à l'atténuation de l'effet des changements climatiques à Madagascar. Spécifiquement, les thématiques traitées touchent les domaines : de la biodisponibilité des nutriments (phosphore, azote, carbone, etc.) dans les écosystèmes cultivés, du bio-fonctionnement du système sol (activités de la faune, l'activité mycorhizienne, activités microbiennes ou autres microorganismes, etc.), et de l'impact de l'utilisation des fertilisants et amendements organiques (fumiers, composts et déchets urbains) sur les propriétés physico-chimiques du sol et la productivité agricole. Dans ce sens, le projet vise à développer une synergie entre les connaissances/compétences que la plupart des jeunes membres ont acquis au cours de leurs travaux de recherche afin de répondre à une question commune : Est-ce que le changement ou les variabilités climatiques affectent le fonctionnement du sol ?

Par ailleurs, chaque membre de l'équipe, selon leur spécialisation, intègre dans des groupes de réflexions et de travail touchant les sujets susmentionnés. En effet, un membre de l'équipe participe par ailleurs à ce projet en tant qu'expert sur l'évaluation de la séquestration de C par des pratiques agro-écologiques au niveau de l'OI, ceci dans le cadre du projet IRACC (Initiative Régionale Agro Ecologie Changement climatique). Outre le projet IRACC, des membres de l'équipe participent déjà activement dans le groupe de discussion GTCC ou Groupement Thématique Changement Climatique – sous-groupe REDD qui est un groupe de discussion/réflexion sur le CC regroupant différentes institutions étatiques, des ONG, et des institutions de recherche.

Le développement de ces diverses activités bénéficie des pré-requis obtenus lors de projets antérieurs menés par le LRI sur cette thématique. Le projet ACCA (Adaptation aux Changements Climatiques en Afrique et Madagascar), intitulé « Vulnérabilité et adaptations des systèmes agricoles aux changements climatiques à Madagascar », réalisé par le LRI, l'ESSA et l'IRD, grâce à un financement du CRDI (2008-2011) a été une étape importante du développement de cette thématique. Il avait comme objectifs de permettre aux acteurs et décideurs impliqués dans l'adaptation aux changements climatiques de mieux cerner la variation spatiale des différentes composantes de la vulnérabilité climatique, d'obtenir des informations, outils et compétences pour mieux décider des actions à mener et des régions où elles doivent être focalisées. Des études de la sensibilité des sols malgaches face au changement climatique par la caractérisation de ses propriétés via l'utilisation de la spectrométrie moyen infrarouge, ont aussi été initiées par un chercheur membre de l'équipe dans le cadre d'une thèse.

3.1. Enjeux du changement climatique à Madagascar

Les questions relatives au changement climatique sont devenues actuellement l'une des préoccupations majeures du monde de la recherche. Selon les prévisions du GIEC, les températures moyennes ainsi que les fréquences des événements extrêmes (sécheresses, inondations, tornades, canicules, vagues de chaleur) augmenteront dans les 90 prochaines années (IPCC, 2007). Pour Madagascar, les prévisions annoncent une augmentation de la température moyenne, et une augmentation de la pluviométrie pour la partie Est de l'île. Il a déjà été constaté une augmentation des températures moyennes sur l'ensemble du territoire ; une concentration des précipitations sur de courte période ; une augmentation de l'intensité des pluies pendant la saison pluvieuse (sur les Hautes Terres et la partie Ouest de l'île) ; et une augmentation du nombre de cyclones de haute intensité. A l'horizon 2055, il est prévu une augmentation de la température moyenne de 1,1°C à 2,6°C et une augmentation des précipitations (Tadross et al., 2008).

Ces changements climatiques peuvent engendrer des modifications à court et à long termes dans le fonctionnement des sols et des écosystèmes (Rengel, 2011). Divers services indispensables à la population sont offerts par les écosystèmes : les services d'approvisionnement (nourriture, fibre, eau douce...), les services de régulation (régulation du climat, régulation de l'eau...), les services culturels (beauté écologique, agrément et écotourisme...) et les services d'auto-entretien (production primaire, formation du sol...) (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Le secteur agricole figure au premier plan des domaines les plus vulnérables au réchauffement climatique global et aux changements du climat associés (Lal et al., 1998). A Madagascar, les changements climatiques peuvent alors affecter le secteur agricole qui est la principale ressource de la population malgache. Le secteur agricole fait ainsi vivre plus de 80% de la population malgache.

3.2. Impacts du changement climatique sur le fonctionnement des agroécosystèmes, la fertilité des sols et la disponibilité des nutriments

Des modifications (brusques ou sur de longues périodes) du régime hydrique mais aussi thermique peuvent affecter les différents processus qui régissent la dynamique de minéralisation de

, la mise à disponibilité des nutriments dans le sol pour la plante et donc le fonctionnement du système sol-plante contrôlant la production agricole. Ces modifications peuvent être un souci majeur pour la pérennisation des systèmes de production agricole et la sécurisation alimentaire.

Les conditions climatiques sont des facteurs déterminants de la minéralisation des MOS. L'évolution des stocks organiques du sol est souvent mesurée par la respiration hétérotrophe des microorganismes du sol, c'est à dire par les émissions de CO₂ du sol vers l'atmosphère. Ces émissions de CO₂ représentant environ la moitié des émissions globales de CO₂ des écosystèmes terrestres (Reich and Schlesinger, 1992), cette problématique ancienne de l'évolution des taux de matière organiques des sols est à nouveau d'actualité pour comprendre la vulnérabilité du cycle du carbone face changements climatiques notamment dans les zones tropicales. Alors que nombreuses études s'attache à caractériser les perturbations du cycle du carbone et en particulier la respiration des microorganismes du sol selon le type de sol ou l'occupation des sols (Hamdi et al. 2013), peu de choses sont actuellement décrites sur les perturbations de la fertilité des sols suite au réchauffement climatique (StClair et Lynch, 2010).

Pourtant des modifications de pluviométrie suite à des modifications de pluviométrie peuvent conduire à une modification de disponibilité de nutriments pour les plantes. L'effet des conditions climatiques sur le pH peut varier en fonction de la saison. Au cours de la saison à précipitations faibles ou modérées, l'évapotranspiration excède la précipitation, il y a augmentation des sels, ceux-ci n'étant pas entraînés en profondeur par lixiviation. Le pH tend alors à diminuer en présence des ions échangeable H⁺ dans la solution du sol. Au contraire, pendant la saison humide, les sels sont dilués et entraînés en profondeur, le pH tend à augmenter (Rengel 2002) ce qui peut jouer sur la biodisponibilité des ions phosphates. En effet, le pH contrôle les processus de précipitation-dissolution qui gouvernent la solubilisation des précipités de phosphates indispensables à la nutrition des plantes (Hinsinger, 2001). Le pH contrôle également la capacité d'échange cationique (CEC), qui est la somme des sites négatifs sur la phase solide du sol susceptible de se lier aux cations, notamment par la dissociation des groupes -OH, -COOH sur les matières organiques et les minéraux argileux (Rengel 2002). L'augmentation de l'acidité du sol diminue la CEC et diminue sa capacité de rétention des nutriments.

Les changements de température et de pluviométrie vont donc probablement modifier à la fois l'activité des microorganismes du sol et leur environnement physico-chimique. Il existe actuellement peu de données quantitatives sur les perturbations du fonctionnement des sols face aux changements climatiques. Dans un tel contexte, il convient d'appréhender la résistance et la résilience des stocks organiques et du fonctionnement des écosystèmes après un stress ou une modification du climat.

3.3. Importance du compartiment sol dans l'évitement des émissions de carbone en REDD+

Le stock de carbone du compartiment sol est tout aussi considérable que celui de la végétation (Robert et Saugier, 2003), mais la capacité de stockage varie d'un type d'écosystème à un autre. Dans l'atténuation au changement climatique, les écosystèmes forestiers tropicaux (dont humide) ont un rôle primordial en termes de séquestration de carbone puisque c'est la déforestation et le changement d mode d'usage dans ces écosystèmes qui constitue la seconde principale source d'émission de carbone dans l'atmosphère (IPCC, 2007). Effectivement, la conversion en terrain de culture des terres forestières pourrait causer la perte de 40 à 50% du stock de carbone initial (Don et al., 2010) ; ceci , en plus de la perte totale du carbone de la végétation. Toutefois, l'importance de ce pourcentage dépendrait de plusieurs facteurs qui contrôlèrent le stockage de carbone dans le sol, entre autres : les conditions pédo-climatiques et les pratiques post-déforestations appliquées (Lal, 2004 ; Lal, 2005).

A Madagascar, un effort considérable est déployé au niveau national pour la bonne mise en oeuvre de la REDD+, ceci dans le cadre du Programme Environnemental phase 3 additionnel – projet Eco-Régional REDD Forêts Humides. En effet, à part le développement des scénarii d'émission de carbone dans le futur, la définition du niveau de référence des stocks de carbone aussi bien pour la végétation que pour le sol demeure l'un des principales tâches à assurer. Pour cela et afin de bien développer les activités de finance carbone et de bénéficier du revenu carbone en faveur des populations locales, les besoins de recherche sur la taille du carbone des sols forestiers de l'écorégion humide ainsi que leur évolution post-déforestation y figurent parmi les activités à réaliser. Les activités du présent projet constitueraient des actions parallèles à ces dernières et pourraient très bien s'aligner à l'attente de ce besoin national en question.

4.1. Objectif principal

Le présent projet a pour objectif principal de déterminer l'impact de la pression anthropique et du stress climatique sur le stockage et à la minéralisation de la matière organique du sol forestier et aussi sur la biodisponibilité des nutriments (N et P) dans différents systèmes agroécologiques (à l'exemple de la rotation/association culturale, l'agroforesterie, et le système sous couverture végétale SCV) ; ceci pour une contribution à la mise en œuvre de la REDD+ à Madagascar.

4.2. Objectifs spécifiques

Le présent projet se propose d'atteindre les objectifs spécifiques suivant :

- inventorer les stocks de C et la disponibilité des nutriments dans les « sols » des principaux agro écosystèmes de l'écorégion de l'Est de Madagascar, entre autres : forêt naturelle humide, agroforesterie complexe et simple, la culture sous couverture végétale ou SCV ainsi que les cultures conventionnelles.
- Etudier l'évolution du stock de carbone des sols suite à la déforestation et suivant une dynamique chronologique déterminée
- Déterminer le niveau de sensibilité des systèmes agroécologiques concernées suivant les variabilités des conditions climatiques (précipitation P & température T)

4.3. Hypothèses

Les deux hypothèses émises et à vérifier par le présent projet sont telles que :

Le degré d'anthropisation poussé sur le mode d'usage de terre entraînera la réduction du potentiel de séquestration de carbone du sol des agroécosystèmes.

En effet, comme il a été mentionné auparavant, les écosystèmes forestiers ont la capacité de stocker du carbone grâce à l'existence des arbres qui approvisionnent le sol en matière organique. La conversion de la forêt en terrain de culture (notamment en cultures conventionnelles) ne fera donc que diminuer la restitution de cette matière organique au sol, s'ajoutant à une accélération de la minéralisation de cette matière organique par les microorganismes du sol. De l'inventaire, après la forêt, les pratiques agro-écologiques qui présenteraient des stocks de C et de nutriments plus importants, contribuent ainsi à l'atténuation au changement climatique

Les pratiques agro écologiques présente une bonne résilience au changement climatique

Cette hypothèse se rapporte principalement aux réponses des agroécosystèmes aux stress climatiques, correspondant à l'augmentation de la température et de la précipitation. On s'attendrait à ce que les pratiques agro écologiques présentent une utilisation des nutriments de manière efficiente et durable en comparaison aux cultures conventionnelles.

De tout ceci, dans le cadre de ce projet, l'équipe s'attachera à étudier la dynamique du carbone et celle des nutriments, notamment le phosphore et l'azote dans les agrosystèmes et écosystèmes forestiers tropicaux. Les activités scientifiques sont alors axés sur (i) la quantification des stocks de carbone en prenant en compte des apports et des pertes de carbone par ces agrosystèmes et (ii) l'évaluation de la mise à disponibilité du phosphore et de l'azote dans ces systèmes. Ces activités seront tournées vers la compréhension des impacts éventuels des stress climatiques sur ces processus ainsi que la connaissance de l'évolution du carbone du sol après déforestation.

L'équipe poursuivra dans et au-delà du projet ses activités d'enseignement et d'encadrement d'étudiants (ingénieur, master et thésard) que ce soit en termes d'encadrement des travaux de terrain ou en termes de réalisation de modules spécifiques pour les étudiants. Si les cours théoriques dispensés par certains membres de l'équipe ont porté essentiellement sur la pédologie, la matière organique du sol, le changement climatique, la statistique et les SIG, l'équipe se proposera d'aborder de nouvelles thématiques/domaines en termes de partage de connaissances à travers des modules de l'Ecole Doctorale A2E (Agriculture-Elevage et Environnement), notamment, les thématiques de communication et valorisation des recherches scientifiques, les outils d'analyses chimiques (spectrométrie en moyen infrarouge). Au terme du présent projet, l'équipe participera activement dans l'organisation d'un atelier d'envergure internationale avec l'AIEA qui se tiendra à Madagascar en 2014 ; une opportunité pour bien asseoir et développer la plateforme créée. En effet, cet atelier aura pour objectif principal de partager les résultats acquis sur l'impact du changement climatique sur la productivité agricole, le fonctionnement du sol et ses services écosystémiques auprès d'un public aussi large que possible : les décideurs, les scientifiques, les bailleurs de fonds, les institutions et organismes non gouvernementaux.

Au terme du projet, l'équipe devrait avoir acquis les équipements analytiques et les méthodologies nécessaires pour pouvoir effectuer des travaux de recherche plus poussés, amenant ainsi à l'identification d'autres questions de recherche et de nouveaux partenariats. Ces derniers permettront de renforcer la plateforme créée et de développer de nouveaux programmes de recherche qui nécessiteront probablement l'instauration de nouvelles unités de recherche, facilitant ainsi la prospection d'autres sources de financement. Une telle structuration faciliterait mieux l'intégration et la participation active de l'équipe au sein des réseaux scientifiques ou des groupes de réflexion (nationaux, régionaux et internationaux) touchant la thématique.

5.1. Démarche scientifique

L'Ecorégion humide de l'Est de Madagascar constitue la zone d'étude, ceci, d'abord pour une synergie aux efforts déployés au niveau national (et principalement en guise de fournitures d'amples connaissances pour l'ONE) pour une bonne mise en oeuvre de la REDD. Ensuite, en tenant compte des expériences et des acquis de chaque partenaire du présent projet, les autres raisons pour le choix de cette zone résident :

- i) dans la disponibilité au préalable de données indispensables à l'étude de la dynamique du carbone après déforestation dans le cadre d'un questionnement de recherche (modélisation du carbone du sol selon l'utilisation des terres à Andasibe) en cours de traitement au sein de l'équipe (notamment au LRI). Ces données seront issues, entre autre, la carte de la déforestation (1990, 2000, 2005, 2010) de la zone d'Andasibe qui permettrait d'établir une chronoséquence (forêt naturelle – cultures conventionnelles de différents âges) et de modéliser l'évolution du carbone du sol à la suite de ces pressions anthropiques ;
- ii) sur l'existence de financement d'un autre questionnement de recherche localisé dans les zones forestières de Didy qui se porte sur le développement d'une méthodologie appropriée pour la quantification du carbone du sol dans le cadre de la REDD à Madagascar. Ce sujet est déjà en cours de traitement, supporté par une bourse IFS bénéficié par le coordonnateur du présent projet, il constituerait une source de cofinancement de ce présent projet;
- iii) l'existence du laboratoire naturel (par la GRENE) qu'est la Station Forestière d'Antetozana où une série d'études à l'échelle naturelle pourrait être menée en système continu ;
- iv) l'accessibilité des parcelles avec diverses pratiques agricoles importantes pour la conduite du projet (notamment, suite à la présence depuis un certain temps du CTH-CIRAD dur le terrain).

Le sol de l'écorégion étant à prédominance ferrallitiques, les agrosystèmes étudiés seront sélectionnés sur la base des modes d'usage des terres existants : forêts naturelles, agroforesterie complexe et simple, culture sous couverture végétale ou SCV, cultures conventionnelles adjacentes à ces agrosystèmes et aussi une chronoséquence de ces cultures.

a. Caractérisation des agroécosystèmes étudiés

Pour chaque système ou mode d'usage, on cherchera à obtenir 4 parcelles de répétitions avec un échantillon composite par parcelle résultant de 3 prélèvements élémentaires selon un premier diagonal sur différents profondeurs (0-10, 10-20, et 20-30 cm). Parallèlement, des prélèvements de sol au carottier sur 3 autres prélèvements élémentaires suivant l'autre diagonal pour pouvoir déterminer la densité apparente du sol et calculer les stocks dans éléments étudiés. Des échantillons frais, seront par la suite prélevés et conservés à 4°C avant les différentes analyses au laboratoire.

Les données biophysiques seront aussi collectées : altitude, pente, description de la végétation existante. Eventuellement, selon les disponibilités ou non des données sur terrain, des inventaires forestiers seront effectués en forêt et/ou agroforesterie pour avoir une idée de la quantité de biomasse aérienne.

Pour les systèmes agroécologiques (agroforesterie, SCV), des échantillons représentatifs de plante seront prélevés.

Par ailleurs, des enquêtes seront menées auprès des paysans locaux afin de reconstituer l'historique des parcelles et des agroécosystèmes étudiés, indispensable à leur bonne caractérisation.

b. Analyses au laboratoire

Une analyse des plantes et des sols pour chaque dispositif étudié sera effectué afin de faire une comparaison entre les systèmes agroécologiques étudiés pour chaque site.

Les biomasses végétales prélevées pour les systèmes agroécologiques seront analysées en termes de teneur en N, P et C total. Les différentes formes de P (P résine, P Olsen, P organique), d'azote minéral (NH₄⁺, NO₃⁻), et de C seront d'abord quantifiées par la méthode conventionnelle. L'approche spectroscopique utilisant l'outil

Spectrométrie en Moyen Infrarouge ou SMIR sera par la suite appliquée comme alternative à cette méthode conventionnelle ; et cela sur les mêmes échantillons de sol pour la quantification à grande échelle de ces teneurs en nutriments.

c. Traitement des données

Les données collectées sur le terrain combinées à celles issues des analyses en laboratoire serviront aux calculs des stocks de C et de nutriments ainsi qu'aux différentes analyses statistiques nécessaires.

Afin d'apprécier la potentialité des pratiques agroécologiques étudiées, chaque système sera étudié avec un système de référence ou conventionnel correspondant. Les deux seront donc comparés en termes de productivité végétale (biomasse et rendement), de capacité de stockage de C (quantité de C à l'hectare), de biodisponibilité des nutriments (Corrélation entre P plante et P disponible du sol P résine, P Olsen et P CaCl₂) et de l'efficacité d'utilisation des nutriments (analyse des ratios P plante/P sol, N plante/ N sol). A l'exemple du phosphore, l'efficacité d'utilisation du phosphore, qui représente la capacité des plantes à extraire le phosphore du sol est mesurée par le P total absorbé par la plante par unité de P disponible du sol (Zoyza et al., 1999). L'efficacité d'utilisation d'azote est mesurée par l'azote total absorbé par la plante par unité d'azote disponible (NH₄⁺, NO₃⁻).

En outre, la compréhension de l'effet du degré des pressions anthropique sur la séquestration de C du sol post déforestation sera appréhendé selon les résultats de l'étude de la chronoséquence établie (forêt naturelle vs cultures de différents âges).

a. Evaluation de l'impact de stress thermique et hydrique sur la respiration du sol

Cette étude cherche à tester la sensibilité de la respiration du sol et de la biodisponibilité de N et P aux modifications de températures et d'humidité. Différents types de scénarii de variabilité climatique seront simulés au cours d'une expérimentation en mésocosme. Les échantillons de sol prélevés à 0-10 cm de profondeur (en faisant l'hypothèse que c'est cette couche superficielle qui est la plus affectée par les stress) de deux ou trois systèmes agroécosystèmes préalablement identifiés seront incubés pour une période de 2 mois à 20, 30, 40 et 50°C à différentes humidités (20, 40, 60, 80, 100% de l'humidité optimale). L'humidité optimale étant déterminée pour un potentiel de l'eau de -0.01MPa (Chevallier et al. 2011). Les quantités de C, de N et de P minéralisées seront suivies au 2^{ème}, 4^{ème}, 7^{ème}, 10^{ème}, 15^{ème}, 21^{ème}, 28^{ème}, 42^{ème}, 56^{ème} jours de la période d'incubation.

b. Exploitation des résultats

Les résultats de l'expérimentation et des mesures in situ seront traités et analysés afin de proposer des recommandations et perspectives sur la sensibilité des agroécosystèmes étudiés au changement climatique et sur l'effet des changements climatiques sur la dynamique des nutriments suivant les types de sol.

c. Utilisation de la spectrométrie dans le Moyen Infrarouge (MIRS)

Les quantités d'échantillons de sol à analyser dans le cadre de ce projet seront particulièrement importantes. Aussi, un des objectifs du présent projet est aussi de

Des travaux antérieurs ont montré qu'on peut avoir une bonne prédiction de la respiration potentielle du sol avec le MIRS (R² = 0,90, RPD ou *Residual Prediction Deviation* >3) (Rabenarivo, 2011), et des travaux sur les prédictions des formes de P sont également en cours au niveau du LRI (Projet Agropolis Fondation "InfraRedSpectrometry as a tool to model inorganic and organic phosphorus availability in tropical soils under conservation systems")

5.2. Résultats attendus :

Comme finalité, le présent projet permettra d'acquérir les connaissances tant demandées par les chercheurs, les opérateurs du développement rural ainsi que les décideurs (aussi bien au niveau international et national) sur : i) la détermination d'une méthodologie appropriée pour l'étude de l'évolution du carbone du sol post déforestation dans le cadre de la REDD+; ii) potentialités des pratiques agro écologiques à l'atténuation/l'adaptation au changement climatique en établissant l'état actuel (niveau de référence) de sensibilité de ces pratiques sous les pressions anthropiques, ceci en termes de C, P et N et suivant les variabilité climatique. Parallèlement, il permettra iii) d'obtenir des données fiables indispensables à l'alimentation de la base de données *Valsols* sur le sol et l'environnement à Madagascar. Madagascar et à mettre à jour les données et informations liées aux indicateurs relatifs au thème Sol des *Tableau de Bord Environnemental* (TBE) Régional des régions concernées. Le TBE sert avant tout comme un outil d'aide à la décision pour le suivi de l'état de l'environnement. Par ailleurs, diverses seront les valorisations des actions et des résultats du projet, entre autres :

- formation et encadrement d'étudiants de différents niveaux (ingénieur, master et éventuellement des thésards) aboutissant à des soutenances et aux productions de mémoires ; l'intégration des acquis dans certains modules déjà prévus dans le cadre de l'Ecole Doctorale A2E et l'ED dans laquelle la GRENE oeuvre.
- communications scientifiques : cf le plan de publication ci-dessous pour les papiers. Pour rappel, un atelier sera pour objectif principal de partager les résultats acquis sur l'impact du changement climatique sur la productivité agricole, le fonctionnement du sol et ses services écosystémiques auprès d'un public aussi large que possible : les décideurs, les scientifiques, les bailleurs de fonds, les institutions et organismes non gouvernementaux ;
- Apport dans le développement des activités de recherches scientifiques et techniques par le CTHT dans leur zone d'intervention

Plan de publication :

Les résultats de cette étude feront l'objet de publication commune entre les équipes partenaires. Des publications seront prévues sur (i) les stocks de carbone des sols dans les agroécosystèmes étudiés, (ii) la disponibilité du P et N selon les pratiques agroécologiques, (iii) la sensibilité des stocks de carbone et de la biodisponibilité des nutriments, P et N, face aux changements climatiques, et (iv) l'intérêt de la spectrométrie dans le moyen infrarouge pour prédire la vulnérabilité des sols au changement climatique.

Dans la pratique, ces publications viseront l'échelle internationale dont celles pour diffusion dans les pays francophones, par exemple : Etude et gestion des sols (<http://www.inra.fr/afes/>), Cahiers d'Agricultures (<http://www.cahiersagricultures.fr/>), Sécheresse (<http://www.revue-secheresse.fr/>), Nature Sciences Société (<http://netx.u-paris10.fr/nss/revue.htm>), deux revues internationales à fort impact publiant aussi des articles en français European J. of Soil Science (<http://www.blackwell-synergy.com/loi/ejs>) et Revue Canadienne de Science du Sol (<http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/aic-journals/cjss.html>). Mais on visera aussi les revues internationales anglophones, comme : Carbon Balance, Geoderma. Parallèlement, les équipes veilleront à la participation aux conférences internationales touchant les thématiques mentionnées ci-dessus.

Depuis la préparation de Madagascar au mécanisme REDD+, une synergie entre les acteurs REDD s'est initiée, dont la création des groupes de travail sur le Changement climatique (entre autre GTCC) et sur la REDD en particulier d'où le Comité Technique REDD-M. Des sous-groupes rassemblant les partenaires techniques et financiers sont déjà établis dont l'atténuation, l'adaptation, ... Brièvement, ces groupes se sont attribués des tâches dans les validations des résultats d'études, des choix méthodologiques, des recherches de partenariats dans les échanges d'informations et récupération et surtout sur le renforcement de la synergie entre les différentes initiatives et projets Carbone. Dans ce sens, la création et/ou la consolidation de plateformes « spéciales » technique et scientifique par la suite des APs-PARRUR est justifiée en raison de la présence en minorité des institutions de recherche et les ONG de terrain au sein de ces groupes.

Il s'avère important donc d'asseoir des plateformes « spéciales » technique et scientifique : i) d'abord en identifiant un certain nombre de sous-groupes rassemblant les institutions de recherche et ONGs à thématiques similaires (ce qui permettrait les échanges, la mise en commun et la synthèse des données et résultats de recherche); ii) de se réunir régulièrement/mensuellement afin pouvoir déterminer les stratégies d'activités en vue et faire connaître les objectifs des plateformes ainsi que leur atouts pour les recherches en perspectives ; iii) de créer un site web qui renforcera leur existence et permettra les échanges entre les partenaires mais aussi permettra leur visibilité favorisant leurs recherches de soutiens financier et technique; iv) opter une vision plus large en s'intégrant au GTCC et CT-REDD (ONE étant le principal interlocuteur pour l'équipe) permettant à ces plateformes d'avoir du poids pour pouvoir mener leur propre lobbies lors des CoPs et rencontres d'envergures internationales (au même titre que les grands organismes internationaux et nationaux) au sein de des groupes de réflexions.

Quatre équipes partenaires seront concernés par le projet : le laboratoire des Radiosotopes (LRI), l'UMR Eco&Sols de l'Institut de Recherche pour le Développement, l'institution GRENE-Gestion des Ressources Naturelles et Environnement et l'Office Nationale pour l'Environnement (ONE).

Un certain nombre de personnes (incluant chercheurs et techniciens spécialisés) issues de chaque institution sera impliqué directement dans la mise en œuvre du projet (Tableau 1) mais ce sera l'équipe du LRI qui assurera la coordination de toutes les activités.

Tableau 1 : Membres des équipes impliquées dans le projet

RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina	Doctorat (2009)	Dynamique de C en écosystèmes forestiers, Modélisation, Cartographie, Foresterie, Spectroscopie
ANDRIAMANANJARA Andry	Doctorat (2011)	Dynamique de P et N dans les agroécosystèmes cultivés, Fixation biologique de N des légumineuses Approche isotopique pour la phytodisponibilité de P
RAZAFIMBELO Tantely M.	HDR, (2011)	Emission de GES, Matière Organique Dynamique de C dans les agrosystèmes, Spectroscopie
RAFOLISY Tovanarivo	Doctorat (2004)	Agronomie
RAZAFIMANANTSOA Marie-Paule	DEA (2004)	Agronomie Analytique
RABENARIVO Michel	Doctorat (2011)	Agronomie, Emission de GES, Dynamique du N Spectroscopie
CHEVALLIER Tiphaine	Doctorat (1999), IRD Montpellier	Séquestration du carbone, Dynamique du C du sol, respiration du sol
ALBREHT Alain	HDR (2005)	Séquestration du carbone, Dynamique du C du sol, Adaptation
BEQUER Thierry	HDR (IRD Madagascar)	P et N du sol, Pédologue
DELARIVIERE Jean	Ingénieur IE (IRD Madagascar)	Chimiste
BLANCHART Eric	HDR (IRD Madagascar)	Biologie du sol, Macrofaune
BERNARD Laetitia	Doctorat (IRD Madagascar)	Biologie du sol
MIASA Eustache	Doctorat (1997)	Océanologie Appliquée- Aménagement littoral
RAZAFINDRALAMBO Angelo	Ingénieur (2006)	Macrofaune aquatique
FENO Daniel Rajaonasy	Doctorat (2007)	Mathématique (Modélisation paysagère)
ROGER Edmond	Doctorat (1985)	Ecologie Végétale
RAMANANKIERANA Heriniaina	HDR (2012)	Ecologie microbienne du sol (ectomycorhizien)
RASOLOFONARINORO	HDR (1996)	Géographie Humaine
JAHIEL Michel	Doctorat (1996)	biologie des populations et écologie
ANDREAS Christophe	Ingénieur (2001)	industries agricoles et alimentaires, spécialité industries alimentaires des régions chaudes
RAHAGALALA Pierre	Doctorat	Dynamique de C en écosystèmes forestiers, Modélisation, Biologiste, Ecologiste
RANAIVOSOA Rija	Ingénieur	Dynamique de C en écosystèmes forestiers Modélisation, Cartographie, Télédétection

Les chercheurs de l'IRD Montpellier viendront en mission d'appui auprès du LRI, en profitant des financements d'autres travaux développés en partenariat avec le LRI. Leur présence sera effective (i)lors de la détermination

et la caractérisation des agrosystèmes (ii) pour la mise en place des expérimentations sur l'impact des stress climatiques sur les propriétés du sol notamment la fertilité et son rôle de puits ou source de gaz à effet de serre pour les sols marginaux ; un type d'expérimentations jamais réalisées à Madagascar. Des missions de coordinations sont prévues par l'équipe du LRI, en étroite collaboration avec CTHT et GRENE pour la supervision des travaux de prélèvement.

Les équipes de chaque institution membre de la plateforme sont caractérisées par leurs interdisciplinarités. Chaque équipe possède leur spécificité mais regroupée par des intérêts communs notamment sur le questionnement REDD+ et agroécosystème (Climate Smart Agriculture) permettrait de favoriser l'aspect Recherche et Développement.

Depuis 2003, le LRI et l'UMR Eco&Sols conduisent ensemble différentes opérations de recherche en partenariat dont les objectifs principaux sont de promouvoir les systèmes agricoles qui maintiennent voire favorisent les fonctions agricoles et environnementales des sols (séquestration du carbone, recyclage des nutriments, production végétale primaire...). Le partenariat de l'équipe du LRI avec le CTHT déjà a été développé depuis 2009 en termes de recherche-action sur les pratiques agroécologiques notamment sur les études des pratiques agroécologiques et l'empreinte C au niveau exploitation. Récemment, il y a eu un souhait de développer un partenariat avec GRENE, une institution académique dont les thématiques de recherche se connecteraient avec celles développées par l'équipe du LRI ; pouvant favoriser ainsi une considération plus large des recherches en perspectives. Le LRI et GRENE ont mis en place chacune une formation des étudiants en système LMD et le développement de partenariat permettrait de répondre ensemble aux AO de recherche dans les thématiques communes. La collaboration avec l'entité étatique comme l'ONE qui fait partie de GTCC avec le LRI ouvrirait une perspective à large échelle avec une politique d'envergure nationale du questionnement REDD.

Les différents acteurs impliqués dans ce projet notamment les équipes, étudiants (constituant les relèves à former et à encadrer), et les bénéficiaires locaux constitueraient un atout considérable dans la réussite de ce projet où la recherche identifiée à la base des besoins des acteurs locaux se mettrait au service du développement local et national (intégration dans GTCC, CT-REDD, mise en place système MRV, ...).

Le budget demandé est de 150 000 Euros compte tenu des moyens et matériels déjà mis à disposition par chaque équipe du projet (parmi tant d'autres : laboratoires par le LRI et la GRENE, appui logistique par le CTHT, etc.). Parallèlement, le projet bénéficiera des appuis d'autres institutions via les autres projets en cours (au sein du LRI) ou fond encore à chercher (auprès de l'AUF) ; un appui représentant environ 17% du budget. A noter aussi que le projet sera intégré dans le réseau CaSA ou Carbone des Sols pour une agriculture durable en Afrique » avec 150 000 Euros qui regroupera une vingtaine d'institutions francophones (en Afrique et en France) qui vient d'être accepté dans le cadre de PARRAF.

La description et la justification du budget demandé par grande rubrique se présentent comme suit, par ordre de priorité :

i) *Les fournitures de bureau* : nécessaires au sein de chaque équipe pour l'exécution des travaux de saisie et de traitement des données de terrain et de laboratoire, de multiplication des documents etc. ... ; ii) *Consommable de laboratoire et de terrain* (une petite partie est supporté par la bourse IFS): pour de prélèvement des échantillons de sol, (sacs en plastiques, glacières pour la conservation au frais, des pains de glaces, emballages, étiquettes, marqueurs,...) ; divers réactifs et produits chimiques, les verreries de laboratoires ; iii) *Frais de personne* lors des travaux de prélèvement sur terrain et pour les préparations des échantillons de sol et de plante à analyser (par LRI GRENE), lors des enquêtes avec le CTHT ; iv) Renforcement des équipements en informatique : il est prévu que les institutions qui accueilleront les étudiants (LRI et GRENE) mettent à la disposition de l'équipe les imprimantes, photocopieuses et ordinateurs. Mais vu la quantité de travail et le temps impartis assez limité, ces équipements informatiques seront renforcés

v) *à bien les expérimentations en mésocosmes* : i) 2 étuves auprès du LRI en plus de ce qui existe déjà (+onduleur) et ii) des flacons spécial 'incubation : incluant les indemnité de stage et els indemnité lors des travaux de terrain de 8 étudiants niveau de Master et DEA en accueil eu LRI et au niveau de la GRENE

Sont regroupées ici :(i) les missions de prélèvement et d'enquête assurés par les chercheurs et les étudiants à Andasibe et à Fénériver-Est CHTH/Ivoloina GRENE (le site de Didy étant déjà supporté par IFS) : missions de 20 j par site, + les frais de déplacement (Antananarivo vers les sites) et les indemnités de mission des chercheurs s avec les frais indirects qui y seront alloués (frais au km des véhicules de l'IRD ou autres, carburant, etc.).(ii)missions de coordination et de création de la plateforme lors des diverses réunions (à Tamatave-début de projet avec mission de démarrage et à Antananarivo-en cours de projet avec évaluation mi-parcours du projet) incluant indemnité et couts liés aux déplacements (soit à Tananarive, soit à Tamatave)

Même si le *lead* du projet sera assuré par le LRI, sa coordination sera conjointement assurée par les 4 équipes concernées. Des financements seront alors alloués aux diverses missions d'échanges et de suivis qui seront effectuées par chaque équipe.

Cette rubrique concerne particulièrement l'organisation du module qui sera assuré à l'ED A2E , notamment d'une sortie sur terrain afin d'illustrer les cours sur les différentes pratiques agro écologiques. L'atelier fera l'objet d'une demande d'appui auprès de l'AUF, en même temps de son intégration dans l'atelier AIEA.

9.8. Autres dépenses (1 800 Euros) : incluant le frais de gestion par le LRI et la contribution au fonctionnement de CoSSE.

Tableau 2 : le budget du projet

	Budget demandé à PARRUR3 (Euro)	Ressources disponibles / à chercher (Euro)	
FONCTIONNEMENT	7533	500	Cofinancement IFS
EQUIPEMENT DE LABORATOIRE	6000		
STAGE DE FORMATION	3472		
MOBILITE DES EQUIPES / PERSONNES	2830	1500	Cofinancement IFS
MISSION DE COORDINATION	1992		
OPERATIONNALISATION ET CREATION DE SITE WEB DE LA PLATEFORME	3000		
ORGANISATION MODULE A L'ED A2E-GRENE/ COLLOQUE/ATELIER	2510	3000	Demande auprès de l'AUF
AUTRES DEPENSES	1800		
TOTAL	29157	5000	

10. RISQUES

Le non acquisition des étuves qui sont des matériels indispensables à la réalisation des travaux d'incubation au laboratoire empêcherait l'aboutissement du projet. L'accessibilité au terrain peut être également un facteur de blocage pour la réalisation de ce projet notamment la nature des infrastructures routière menant à chaque site surtout les systèmes forestiers durant la période pluvieuse. Côté académique, l'opérationnalisation de l'école doctorale ED A2E afin d'assurer les inscriptions, formations et encadrements prévus dans le projet et la disponibilité des étudiants à Tamatave (en relation avec l'ED en liaison avec GRENE) et à Antananarivo (ex : pendant la période de cours académiques en salle) constitueraient des contraintes pour ce projet.

11. INDICATEURS D'EVALUATION/SUCCES

Les indicateurs proposés qui serviront à évaluer le projet proposé restent à peu près les mêmes que ce soit en cours ou en fin de projet. Ils renseigneront les réalisations effectuées au fur et à mesure que les activités soient développées, en relation avec : les acquisitions à faire, les missions de terrain à assurer, les divers travaux en laboratoire, la création de la plateforme ainsi que les différentes forme de valorisation (publication, formation, atelier, etc.).

En cours de projet :

- Acquisition d'étuve et de matériels pour les manipulations en laboratoire sur les mésocosmes ;
- Inscription des étudiants recrutés auprès des deux ED concernées (A2E et ED avec la GRENE)
- Données sur les stocks et les disponibilités en nutriments dans les agro-écosystèmes étudiés
- Equipements (informatique) acquis & installé à chaque destination (LRI-GRENE)
- Institutionnalisation de la plateforme technique et scientifique avec les quatre autres collectifs 4 équipes partenaires (statut établis)
- Rapport mensuel des réunions pour la création de la plateforme
- Au moins deux papiers soumis : i) sur l'étude de la dynamique du stock de carbone des sols après la déforestation : ii) sur l'évaluation des stocks de carbone et de la disponibilité des nutriments des systèmes agro écologiques étudiés

En fin de projet :

- Deux premiers papiers publiés et au moins deux autres papiers soumis publiés sur les résultats des manip en laboratoires
- Rapports de soutenance et mémoires des 8 étudiants
- Support et compte rendu des modules d'enseignement dans l'ED A2E et GRENE
- Acte de l'atelier/conférence d'envergure internationale
- Site web de la plateforme créée et opérationnel avec les 4 autres collectifs

12. CHRONOGRAMME

Activités	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Livrables
Lancement des activités de terrain : '- Réunion de planification à Tamatave '- Identification des agroécosystèmes à étudier à Fénérive-Est/Ivoina et à Andasibe '- Recrutement des étudiants assurant les travaux de terrain											- Rapport de lancement du projet '- Dossier d'inscription des étudiants à former
Réalisation des travaux de terrain et 1ère partie des travaux en laboratoire: '- Prélèvements de sols et de plantes '- Détermination des teneurs en carbone et en nutriments de Sols et de Plantes '- Formation et manipulation en spectrométrie en moyen infrarouge											- Document de synthèse sur les missions de terrain et les premières données utiles à la bonne conduite du projet '- PV de la formation et liste des personnes formées
2ème partie des travaux de laboratoire: '- Recrutement des étudiants assurant les manip en laboratoire '- Etude des impacts de stress hydrique et thermique (Expérimentations en laboratoire, en mesocosme)											- Dossier d'inscription des étudiants à former '- Document de synthèse sur les séries de données issues du laboratoire
- Réunion de mi-parcours du consortium : '- Soutenance des étudiants formés et encadrés '- Réalisation de formation dans des modules dans les ED concernée											- Rapport de réunion mi-parcours '- Rapport des soutenances et mémoires des étudiants
- Publications: préparations et soumissions '- Réunion mensuelle pour la création de la plateforme technique et scientifique											- copie des publications effectuées
- Clôture du projet '- Atelier de diffusion des résultats											- Rapport final '- Acte de conférence

Busson, F., Andriamiarinosy, M., Monteils, F., Randrianarison, M., (2009), *REDD à Madagascar Etat des lieux et expériences en cours*, Green Synergy, Unpublished report to the Madagascar REDD, Technical Committee.

Chevallier, T., Blanchart, E., Toucet, J. and Bernoux, M., 2011. Methods to estimate the protection of soil organic carbon within macroaggregates 1- Does soil water status affect the estimated amount of soil organic carbon protected inside macroaggregate? *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 42: 1522-1536.

Don, A., J. Schumacher and A. Freibauer (2010). "Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks –a meta-analysis." *Global Change Biology*

Hamdi, S., Moyano, F., Sall, S.N., Bernoux, M. and Chevallier, T., 2013. Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 58: 115-126.

Hinsinger, P, 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil* 237: 173-95.

Lal, R., 2005a. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220, 242-258.

Razafimbelo, T.M., Albrecht, A., Oliver, R., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Feller, C., 2008. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. *Soil and Tillage Research* 98 (2), 140–149.

Rengel, Z., 2011, Soil pH, Soil Health and Climate Change. *In*. Singh BP et al. (eds.), *Soil Health and Climate Change*, Soil Biology 29, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Robert M., Saugier B., 2003. Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *C. R. Geoscience* 335 (2003) 577–595

Van Noordwijk M., Minang P.A., Dewi, S., Hall, J., Rantala, S., 2009a. Reducing Emissions from All Land Uses (REALU): The Case for a whole landscape approach. ASB PolicyBrief 13. ASB Partnership for the Tropical Forest Margins, Nairobi, Kenya.

Articles à comité de lecture

Razakavololona A., Razafindrakoto M.A., Vieilledent G., Biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar, *Biomass and Bioenergy*. doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.020.

Chapuis-Lardy L., Metay A., Martinet M., Toucet J., Douzet J.M., & Rakotoarisoa J., Nitrous oxide emissions from Malagasy agricultural soils. *Geoderma* 148, 421-427.

Chapuis-Lardy L., Baudoin E., Philippot L., Chèneby D., Fromin N., Lensi R., Metay A., Rabary B., Brauman A., SCV à Madagascar : Impacts sur les communautés microbiennes impliquées dans l'émission de N₂O. *Terre malgache*, 26, 13-16.

Blanchart E., Barthès B., Bernoux M., Chapuis-Lardy L., Chotte J-L., Coq S., Douzet J-M., Falinirina V., Feller C., Rabary B., Randriamanantsoa R., Ratnadass A., Scopel E., Villenave C. et Weber L. ; Fonctionnement du sol sous SCV au Brésil et à Madagascar : Abondance et rôle des ingénieurs du sol sur la dynamique du carbone du sol. *Terre malgache*, 26, 25-28.

Participation à des congrès / ateliers internationaux

A., Bernoux M, Michellon R., Rabeharisoa L, 2012. Assessment of soil organic matter storage in conservation agriculture (CA) systems using natural abundance of ¹³C (Antsirabe, Madagascar). International Conference on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation , 23rd to 27th July 2012, Vienna, Austria. (Poster).

Rabeharisoa L., Masse D., Vailhe H., Drevon J.J. and. Morel C., 2012. Use of nuclear tools to study the adaptation mechanism of voandzou (*Vigna Subterranea*) under phosphorus deficiency. International Conference on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation , 23rd to 27th July 2012, Vienna, Austria. (Poster).

Rakotomalala E., Grinand C., H. M., 2012. Importance of carbon storage in forest biomass and soils for climate change mitigation: case of Madagascar. Tours 2012 conference - Tackling climate change: the contribution of forest scientific knowledge, 21-24 mai, Tours, France.

Rakotondrasolo F., Rabary B., Douzet J-M., Rabeharisoa L., Short term dynamics of soil organic carbon in no-tillage systems. Agro2010 the XIth ESA Congress, August 29th – September 3rd, Montpellier, France.

.1, Rakotondramanana J.1, Andrianoroharison T.1, Blanchart E., Bernard L., Rabeharisoa L., Le mode d'apport et les types de résidus affectent-ils, à court terme, la distribution du carbone dans le sol ? Atelier thématique international « Agronomie et Ecosystème », 21-25 mars 2011, Antananarivo, Madagascar

Les participations aux journées spéciales changement climatique à l'Académie Nationale Malgache (Acnal)

RABEHARISOA Lilia,

L'atténuation du Changement Climatique à travers la Réduction des Emissions Issues de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD+) à Madagascar. 110^{ème} anniversaire de l'Académie Nationale Malgache, 08-09 Novembre 2012

Rakotovoana Narindra, Deffontaines Sylvain, Rabeharisoa

Lilia, Agriculture et changements climatiques : quelles pratiques d'atténuation ? 110^{ème} anniversaire de l'Académie Nationale Malgache, 08-09 Novembre 2012

RAZAKAMANARIVO-RAMARSON Herintsitohaina, RAZAFIMBELO Tantely, RABEHARISOA Lilia, ALBRECHT Alain. Environnement et changement climatique : rôle des plantations d'eucalyptus des Hautes Terres Centrales malgaches. Mars 2011 Journée sur le changement climatique à l'ACnals.

.1, Razafindramanana N.C.2, Douzet J.M.3,4, Rabary B.3, .1, Ramahandry F.3, Rakotondrasolo F.1, Rabeharisoa L.1, 5, Scopel E3,4. Riz pluvial et gestion de fertilité. Mars 2011 Journée sur le changement climatique à l'ACnals

Les participations à l'Atelier scientifique « Agronomie & écosystèmes », 21-25 mars 2011. Antananarivo-Madagascar. Co-organisé par le Laboratoire des Radiosotopes et le Secrétariat Exécutif Corus&AIRES-Sud.

Rakotondrasolo F.N., Rabary B., Le mode d'apport et les types de résidus affectent-ils, à court terme, la distribution du carbone dans le sol ?

Razafindrakoto M.A., Etude du stockage de carbone dans le sol et la végétation des cultures et autres écosystèmes des Hautes terres centrales malgaches (Sambaina-Manjakandriana).

Falinirina V., Rabeharisoa L., Masse D. Utilisation des produits résiduels organiques sur un ferrallosol de Hautes Terres de Madagascar : effet sur les rendements et la propriété physico-chimique des sols

Productivité du riz pluvial sous fertilisation phosphatée organique et minérale sur tanety des Hautes terres Malgache

, Masse D., Rasoamampionona B., M.P., Rabeharisoa L. Effet de la fertilisation organique et minérale sur la mycorhization du voandzou (*Vigna subterranea*) sur Ferrallosols malgaches.

Les participations au Séminaire International « Les sols tropicaux en semis direct sous couverture végétale » 3-8 décembre 2007. Antananarivo, Madagascar, co-organisé par l'IRD, le GSDM, le CIRAD et le Laboratoire des Radiosotopes

, Andriamiaramiantraferana J., Michellon R., Moussa N., Brauman A., Louri-Toucet J., Chapuis-Lardy L. Emission in-situ de N₂O d'un ferrallosol argileux Malgache cultivé sous SCV ou labour

Rabeharisoa L., Stocks de carbone du sol des zones de jachère du corridor forestier de Vohimana

Razafindrakoto M.A., et al. Les sols sous eucalyptus des Hautes Terres centrales malgaches sont-ils des puits de carbone ?

Razafimbelo T. ; Albrecht T. ; Ravelojaona H., Moussa N, Razanamparany C., Rakotoarinivo C., Razafintsalama H., Michellon R., Naudin K., **Rabeharisoa L.**, Feller C. Stockage de carbone dans le sol sous systèmes en semis direct sous couvert végétal suivant différents contextes pédoclimatiques. Cas du Sud-Est, du Centre-Nord et du Sud-Ouest de Madagascar