

Traduction du document :
Yolande LYFOUNG (AGROOF)

1. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DU PROJET

1.1. ORGANISATION DU PROJET

Le projet s'articule autour de six ateliers (WP). Le premier WP concerne la coordination, le transfert de technologie et des résultats issus du projet, l'adéquation avec l'industrie et la société, des programmes de sensibilisation et de formation d'ingénieurs agro-écologiques. Un comité de pilotage et un comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux seront mis en place pour guider et faire en sorte que la recherche reste dans ses objectifs. Pour comprendre la situation socio-économique locale pour laquelle notre travail est demandé, une Méthode Accélérée de Recherche Participative sera mise en place par le WP1.

Le deuxième WP s'attèle à dresser l'inventaire des données issues des sites expérimentaux qui seront étudiées dans le projet. Un réseau de sites expérimentaux existant fournira les données utilisées pour les modèles de fixation du carbone et du sol dans le WP5 (*Déterminer les compromis entre les services racinaires par une modélisation intégrée*). Chaque site est différent des autres d'un point de vue géomorphologique et climatique. Chaque site en est à un stade donné de complexité (Fig.3), représente un système individuel apportant nutriments ou fibres et nous offre une opportunité unique de tester les méthodes génériques et des modèles qui seront analysés dans ce projet (fig. 4). Bien que les participants au programme ont déjà réalisé la description des sites expérimentaux et en assurent le suivi (Cadre 1), certaines données nécessaires à des expériences supplémentaires et à la modélisation seront sans doute manquantes comme, par exemple, les caractéristiques de mécanique et de physique du sol, la topographie ou la structure de la communauté végétale. C'est pourquoi ces données seront collectées en début de projet par le WP2 (*Inventaire, harmonisation et caractérisation des données de terrain*) qui emploiera des techniques harmonisées.

Le WP3 (*Quantification des traits racinaires*) a pour objectif de quantifier les différents traits des racines superficielles et profondes qui sont susceptibles de fixer le sol, séquestrer le carbone et contribuer à la redistribution hydraulique sur chaque site. Sur trois des sites existants, des expériences ont été mises en place par lesquelles la dynamique de croissance racinaire fait l'objet d'un suivi en continu par macro ou mini rhizotrons (Cadre 1, Figures ii et iv respectivement). On peut ainsi évaluer les modifications des traits au cours de l'année, sur les racines à différents stades de l'ontogenèse et dans les différentes parties du profile de sol. Des carottes, des profils et des blocs seront prélevés, les traits racinaires mesurés, afin que la distribution racinaire et des traits donnés puissent être analysés à l'échelle spatiale et hétérogène d'une unité de terrain. Ces données sont requises en particulier pour le WP5 où la mise à échelle des traits sera déterminée du niveau individuel au niveau de l'écosystème. L'architecture racinaire de certains végétaux donnés (WP3) sera analysée en détail et utilisée comme données de saisie pour un simulateur existant dans le but de créer un système racinaire computationnel (WP5). Le système racinaire computationnel sera alors distribué spatialement à l'échelle d'une unité de terrain virtuelle. Pour tester si le logiciel fournit des résultats conformes à la réalité, la distribution racinaire provenant de carottes/profils/blocs du terrain (WP3) sera comparée à celle d'unités virtuelles de sol.

Dans le WP4 (*Services écosystémiques – fixation du sol, relations hydriques et séquestration du carbone*), on étudiera dans les couches profondes et superficielles du sol, le lien entre la structure du sol (stabilité des agrégats) et la cohésion du sol et comment chacun est affecté par la présence des racines. On étudiera également la relation entre les traits racinaires et les propriétés chimiques et physiques du sol (à partir du travail du WP2). Le stock de carbone organique du sol (SOC) sera quantifié par l'incorporation dans le sol, de la matière organique provenant des racines à différentes profondeurs. Nous testerons également l'occurrence de l'ascenseur hydraulique à l'aide du marquage isotopique de l'eau dans le continuum sol-végétal, de tomographies de résistivité électrique ERT et des stations classiques d'échantillonnage d'eau directs et indirects à long terme (WP2).

Dans le WP5, les résultats provenant des WP 2, 3 et 4 seront utilisés pour le développement, l'adaptation et la validation de modèles qui décrivent la croissance racinaire et la fixation du sol et du carbone dans le temps et l'espace. Le travail dans ce WP consistera à i) étudier les mécanismes sous-jacents de l'interaction racine-sol impliqués dans des services écosystémiques donnés à l'échelle du végétal et du peuplement ; ii) identifier l'éventail des traits des systèmes racinaires (WP3) essentiels à la conservation du système dans des limites acceptables nécessaires à une combinaison donnée de services écosystémiques, c'est-à-dire déterminer les compromis entre ceux-ci et iii) quantifier l'impact de scénarios de gestion sur une série de services écosystémiques. Les résultats des simulations seront comparés entre 1- les modèles tenant compte des données interpolées sur la distribution racinaire provenant de carottages, et 2- les données sur la distribution racinaire provenant d'une description plus précise de traits racinaires donnés à l'échelle du végétal (WP3).

La grande quantité des données produites dans un tel projet sera organisée dans une base de données disponible par internet (WP6 – *Exploration des données et aide à la décision*). Le WP6 débutera au mois 0 car les terrains et les traits à mesurer au WP3 doivent être identifiés à l'avance dans le projet ; les choix seront établis à partir d'une exploration de la littérature et de discussions. Des analyses de données seront réalisées dans le WP6 via l'intégration de données collectées au cours du projet. Une perspective globale sera envisagée ainsi que des analyses statistiques à l'échelle de la racine, de la parcelle et du terrain. Les résultats du projet *Ecosfix* seront utilisés comme données de saisie destinées à un système d'aide à la décision (DSS) libre d'accès pour les chercheurs, les ingénieurs, les forestiers, les décideurs politiques, les propriétaires et exploitants. A partir de l'analyse statistique et du WP5, un ensemble de critères sera proposé lié aux effets du site. Chaque critère correspondra à un effet prévu dans un scénario donné sur les services écosystémiques des racines et sera saisi dans le DSS. Le DSS comprendra une base de données comportant les valeurs attribuées aux services écosystémiques pour différents types de végétation et proposera un ensemble de valeurs de scénarios pour différents sites qui pourront être utilisées pour faire varier les critères ci-dessus. Un guide pratique électronique (web et version CD) sera produit dans le WP6 et pourra être utilisé de pair avec le DSS. Des films sur les sites, les méthodes et les résultats principaux seront réalisés et inclus dans le guide pratique, les actions visuelles étant plus parlantes (et se gardant plus facilement en mémoire qu'un texte), particulièrement s'il s'agit de communiquer largement sur les résultats.

Figure 3: Pour faire face à au développement galopant de la population, on a abattu des forêts pour fournir des ressources et des terres agricoles. Dans un élan de conservation de l'intégrité écologique, les forêts sont désormais réhabilitées et l'agriculture est en train de subir une Révolution Verte (F. Bongers, pers. comm.). Le réseau des sites expérimentaux choisi dans cette étude représente les différents stades de complexité forestière et fournit de bons exemples de production vivrière et ligneuse. Les services rendus par les forêts pour la société jouent un rôle par lequel celles-ci sont protégées tout en étant exploitées.

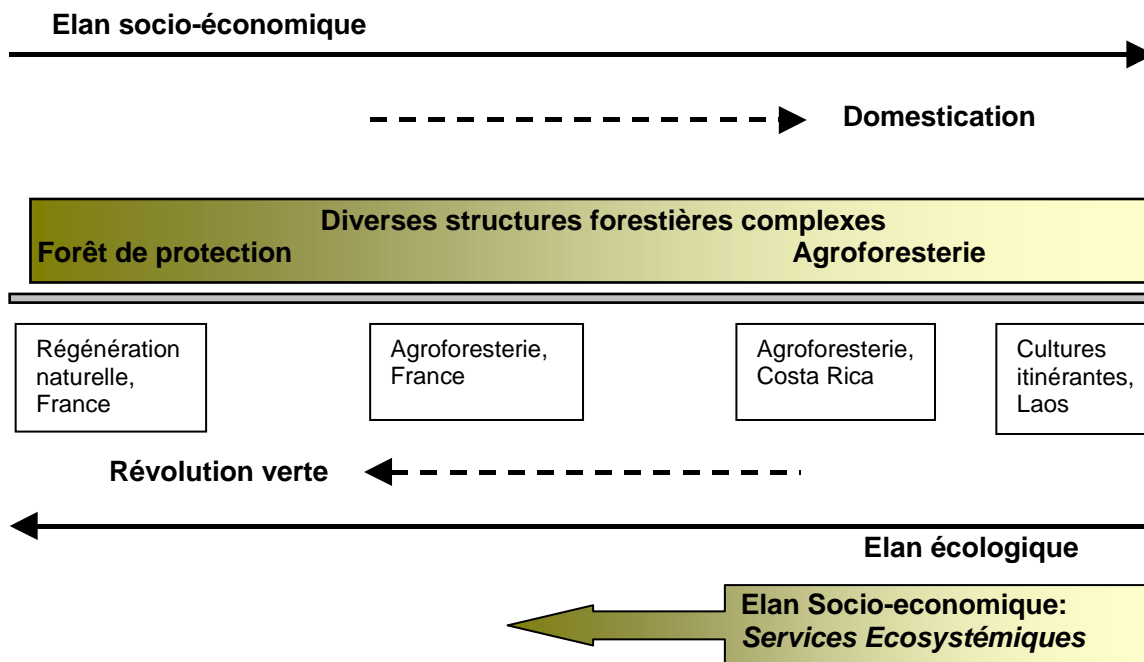
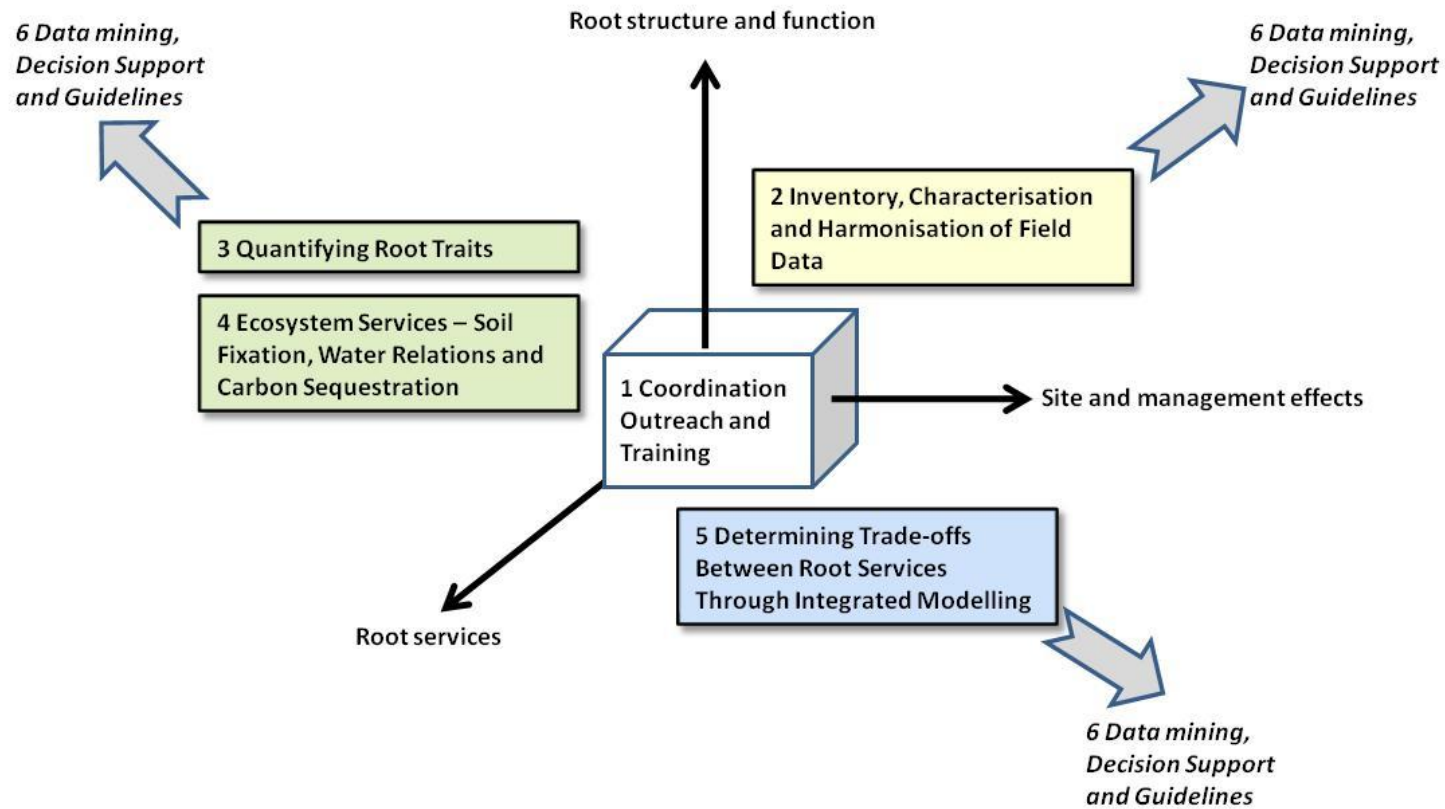


Fig 4. Représentation graphique des éléments du projet

Ecosfix s'articule autour de 4 ateliers scientifiques, pour la coordination et la sensibilisation, pour l'exploration des données et la production d'un guide pratique.



1.2. GESTION DU PROJET

Le partenaire coordinateur (INRA à l'UMR AMAP) a une expérience significative dans la coordination de projets ANR et internationaux, et le coordinateur du projet, Alexia STOKES, est basée à l'unité de recherche AMAP (UMR Botanique et BioInformatique de l'Architecture des Plantes). AMAP est une unité de recherche collaborative avec un personnel de près de 70 membres provenant d'organisations scientifiques comprenant le CIRAD, le CNRS, l'INRA, l'IRD et l'Université de Montpellier II. AMAP assumera la responsabilité générale de la gestion du projet, garantira que le travail proposé sera réalisé dans les temps, que les délais impartis seront respectés et que les retards seront gérés adéquatement. En tant qu'UMR conséquente, avec différentes institutions partenaires, AMAP est tout à fait capable de comprendre et de gérer les exigences administratives pour les partenaires du projet. Le coordinateur d'Ecosfix passera trois mois-mois-homme par an sur la gestion de ce projet. Elle aura une assistante, secrétaire à temps partiel (9 mois-homme, coût non pris en charge), capable de tâches de secrétariat et d'administration ainsi que des compétences en informatique dans le but d'administrer le site internet *Ecosfix* qui fournira les détails sur le projet. Ce dernier sera très utilisé par le partenaire n°3 CEFÉ qui utilisera le site pour recevoir les résultats à saisir dans la base de données *Pl@ntNote* (WP6). Certaines pages web pourront être consultées librement par tout public, d'autres auront un accès limité à l'ANR et au consortium.

Dans le cadre du WP1 (*Coordination du Projet, Sensibilisation et Formation*), des réunions seront conduites tous les douze mois pour tous les partenaires du consortium avec le comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux (voir plus bas). Toutefois, des réunions de groupes plus restreints seront organisées tous les six mois pour garantir les protocoles de laboratoire et les protocoles de terrain, la communication des données entre WP et la qualité des rapports. La première réunion Ecosfix s'est tenue à Montpellier en février 2010 dans le but de discuter de la proposition et du programme du projet actuel. Chaque rencontre annuelle Ecosfix sera organisée dans un pays qui possède un site expérimental (le séminaire de lancement, au mois 0, à Montpellier, France sera associé à un atelier technique d'enseignement des méthodes de terrain qui seront utilisées dans le projet). Après le séminaire de lancement, nous commencerons le WP2 à Restinclières (*Inventaire, harmonisation et caractérisation des données de terrain*). Chacune des rencontres suivantes sera animé par un chercheur collaborateur basé dans ce pays (mois 12 – Costa Rica, mois 24 – Laos, mois 36 – Grenoble).

Le réseau des sites expérimentaux (Cadre 1) sera visité et si nécessaire identifié (WP2) par une équipe impliquée dans le projet, les « *Ecos-fielders* ». Bien que tous les sites sont déjà équipés d'instruments de mesure et font l'objet d'un suivi réalisé par des partenaires du projet, certaines données requises pour modéliser des aspects pourraient manquer. Chaque partenaire dans son équipe de terrain sera représenté par au moins un de ses membres. Les *Ecos-fielders* travailleront ensemble pendant les six premiers mois du projet, à vérifier le protocole et à réaliser des inventaires dans le réseau des « *Ecosites* » (Cadre 1). Puisque les *Ecos-fielders* comprendront des spécialistes du sol, des forestiers et des biologistes, chaque membre de l'équipe apprendra des nouvelles techniques pour la caractérisation du sol et du matériel végétal. Ces techniques sont souvent employées par les ingénieurs écologiques lorsqu'ils sont amenés à gérer des programmes de restauration et de réhabilitation. Ainsi, la formation en ingénierie (agro)écologique en sera favorisée.

Des rapports sur la progression de l'étude seront produits aux mois 6, 12, 18, 24, 30 et 36 et seront écrits en conformité avec les recommandations faites par la commission ANR. Chaque WP sera coordonné par une des structures participant à *Ecosfix* et il en sera de leur responsabilité de garantir

une normalisation des méthodes et du flux des données circulant entre WP. Les coordinateurs seront également responsables de l'écriture d'un rapport sur le travail réalisé par leur WP et présenteront celui-ci tous les six mois. Le coordinateur du projet collectera les informations issues de tous les rapports et distribuera un rapport consolidé à la commission ANR, à tous les membres du consortium et au comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux (voir ci-après).

Les partenaires seront encouragés à voyager entre structures, que ce soit entre différents participants du consortium (y compris les sous traitants), ou dans le but de travailler avec les membres du comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux. Par conséquent, une grande partie du budget est attribué aux voyages, aux frais afférents à ceux-ci, avec un montant inférieur pour l'équipement puisque celui-ci est déjà acquis par les divers membres du consortium, à l'exception du fait où il nécessite d'être remplacé ou renouvelé.

Comité de Pilotage

Afin d'établir un lien étroit entre les partenaires, un comité de pilotage sera mis en place, qui sera formé par une personne représentant chaque partie. Le comité de pilotage devra travailler en étroite collaboration afin de garantir que le travail annoncé dans le projet soit bien conduit, que les délais impartis soient respectés et que les livrables et rapports soient produits en temps et en heure. En cas de désaccord ou de conflit entre partenaires, le comité de pilotage se réunira pour ouvrir une discussion et trouver une solution au problème. La liste des membres du comité de pilotage est visible section 5.3 – Qualification, rôle et implication des participants : les noms des membres du consortium sont en caractères gras.

Comité représentant le Groupe d'utilisateurs finaux

On constate une hausse du besoin d'implication des petites et moyennes entreprises (PME) et des organisations non gouvernementales (ONG) pour le développement des projets menés par des structures de recherche. Celles-ci sont indispensables afin de rapporter en détail les problèmes que les personnes rencontrent sur le terrain aux chercheurs, de maintenir un équilibre entre les besoins de l'industrie, des exploitants et le niveau et le type de recherche entrepris mais également pour décider de la meilleur façon de construire et de mettre en place le programme de sensibilisation. La recherche devrait partir du besoin des utilisateurs finaux et le garder à l'esprit. Un groupe d'utilisateurs finaux a été invité à constituer un comité représentatif. En invitant le comité représentant les utilisateurs finaux aux rencontres annuelles entre les participants du projet, en lui envoyant des rapports tous les six mois, et en administrant un site internet mis à jour régulièrement présentant les détails des activités et des résultats, la recherche sera amenée à fournir les connaissances les plus utiles à la société et à l'industrie. Les membres du comité représenteront des professionnels, des enseignants et gérants avec des membres issus de milieux très divers comprenant la foresterie de montagne, l'agriculture, l'agroforesterie et l'agroécologie. Ce comité sera organisé et géré par l'association AFAP partenaire N°7. Pour de plus amples information et pour consulter la liste des participants, se reporter à la section 4.

1.3. DESCRIPTION DES TRAVAUX PAR TACHE

1.3.1 ATELIER N°1 (WP1).

Coordination du Projet, Sensibilisation et Formation

Numéro de l'atelier:	WP1
Date ou événement de démarrage :	Début du projet
N° du Partenaire coordinateur:	1 - AMAP
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Nombre de Mois-homme par partenaire :	1[17] 2[2] 3[11] 4[7] 5[17] 6[9] 7[10] 8[12]

Objectifs

Ce premier atelier comprend la tâche initiale la plus importante de laquelle dépend la réussite du projet. *Ecosfix* est un projet d'envergure c'est pourquoi une coordination efficace demande des réunions régulières entre partenaires et la remise de rapports écrits tous les 6 mois. Les protocoles d'échantillonnage, les analyses données, les transferts des connaissances entre partenaires et le modèle d'interaction feront également l'objet de discussions dans cet atelier. Les partenaires doivent être capables de discuter et de se mettre d'accord sur l'harmonisation des ateliers restants afin de faire en sorte que le projet soit cohérent et productif. Un objectif important de cet atelier sera de garantir la réalisation des tâches et des livrables dans les délais impartis et de veiller à ce que la pertinence du projet soit toujours en adéquation avec les besoins de l'industrie, de la société et des objectifs de la commission ANR.

La diffusion des résultats de ce projet sera assurée sur un plan national mais également international par la production de publications, un site internet, un atelier et le développement d'un programme de sensibilisation (OIP). Une Méthode Accélérée de Recherche Participative sera mise en place afin de garantir que la recherche reste bien ciblée en fonction des contraintes et nécessités socio-économiques.

La formation d'ingénieurs (agro)écologiques sera effectuée sur toute la durée du projet, en employant de jeunes chercheurs provenant de divers cursus, et en leur enseignant de nouvelles méthodes et techniques. Un stage de formation sera mis en place à la fin du projet, première étape vers l'inclusion de l'ingénierie (agro)écologique dans l'éducation supérieure à la fois en France et dans les pays associés.

Description des tâches

1.1 Circulation de l'information

La première réunion du projet aura lieu à Montpellier, à l'UMR AMAP au mois 0. A la fin de la première réunion, un atelier aura lieu pour tous les participants concernés par le travail de terrain, afin d'inventorier les données existantes, de déterminer le cahier des charges du modèle, d'harmoniser les techniques expérimentales et de vérifier les protocoles. Le travail de terrain commencera immédiatement après le comité de pilotage à Restinclières, dans l'Hérault. Tous les sites expérimentaux (Fig. 2, Cadre 1) seront caractérisés par une équipe de terrain dont les membres seront nommés « Ecos-fielders ». Chaque partenaire sera représenté par un membre d'équipe. Les *Ecos-fielders* travailleront ensemble pendant les six premiers mois du projet, pour vérifier le protocole si nécessaire, et caractériser les « Ecosites » expérimentaux. Puisque l'équipe *d'Ecos-fielders* comprendra des scientifiques du sol, des (agro)forestiers et des écologistes, chaque membre apprendra des nouvelles techniques de caractérisation, du sol, des végétaux et de topographie. La logistique d'organisation du travail de terrain fera partie de cette tâche (quand, à quel endroit, comment contacter

des partenaires dans les pays associés etc.) et le coordinateur garantira que la communication est fluide entre partenaires et *Ecos-fielders*.

Les réunions du projet auront lieu tous les six mois pour certains membres du consortium et tous les 12 mois pour tous les participants, y compris le comité des utilisateurs finaux (voir ci-après section 4). Des rapports de progression seront produits à 6, 12, 18, 24, 30 et 36 mois et suivront les recommandations de la commission ANR. Chaque atelier (WP) sera coordonné par une institution participant à *Ecosfix* et il sera de la responsabilité de ces coordinateurs de garantir la normalisation des méthodes et la circulation des données entre ateliers. Les coordinateurs seront également responsables de rapporter le travail effectué dans leur WP et de présenter ce travail au coordinateur de projet tous les six mois. Le coordinateur de projet rassemblera les informations de tous les rapports et distribuera un rapport consolidé à la commission ANR, à tous les membres du consortium et au comité d'utilisateurs finaux (voir ci-après).

1.2 Sensibilisation et Transfert de Technologie

Cet atelier sera également concerné par la mise en place de conseils provenant du groupe d'utilisateur finaux (EUG). Ce groupe a déjà été identifié (voir section 4), et est composé d'un ensemble de personnes susceptibles de promouvoir les résultats et l'information émanant du projet par exemple les associations agroforestières, les gardes-forestiers et les enseignants. Ce type de comité est nécessaire pour centraliser le travail et les résultats du projet et diffuser les résultats en France comme à l'international. L'EUG rencontrera les partenaires du consortium afin de réaliser la critique et le commentaire du travail réalisé, des analyses des résultats et de mieux cibler la discussion.

Un point clé de cette tâche sera de diffuser les résultats et la technologie par le développement d'un programme de sensibilisation (OIP). Celui-ci utilisera diverses méthodes pour garantir le transfert des données et de la technologie à l'issue mais aussi à la suite du projet :

- La première tâche sera de publier la page web qui sera mise à jour régulièrement. Les résultats et les directives seront publiés dans les pages web. Certaines pages web seront accessibles au public, d'autres (utilisées pour la transmission des données et des résultats) ne seront accessibles qu'aux membres de l'ANR et d'Ecosfix.
- Les Partenaires n°7 (AFAF en France), n°8 (CATIE au Costa Rica) et l'ONG HELVETAS, sous-traitant au Laos, utiliseront une Méthode Accélérée de Recherche Participative (RRA, Chambers 1994) de l'attitude et de l'intérêt des habitants locaux situés autour des Ecosites. Le RRA évaluera l'utilisation des ressources naturelles et cultivées, la dépendance des sondés vis-à-vis de ces dernières, leur circonstance socio-économique et l'opportunité d'améliorer le niveau de vie. A partir de ces études, une liste des activités/mesures des moyens de subsistance sera établie et présentée aux chercheurs d'*Ecosfix* afin d'adapter la recherche au niveau pratique sur chaque site. A la fin du projet un questionnaire sera réalisé pour évaluer le changement d'attitude vis-à-vis de l'utilisation durable de l'agroécologie, des ressources naturelles et si les méthodes agricoles ont/auront changé selon les résultats du projet.
- Le programme de sensibilisation sera développé pendant le projet, avec l'aide du groupe d'utilisateurs finaux (EUG) afin de permettre la publication des résultats d'*Ecosfix* et leur diffusion auprès du public approprié. Une étroite collaboration sera établie entre les acteurs de la filière et le public par l'AFAF (Partenaire n°7) en France, CATIE (partenaire n°8) au Costa-Rica et HELVETAS au Laos. Le programme de sensibilisation sera mis en place sur deux niveaux. Au niveau national, il se concentrera sur l'intérêt de la population générale envers des problèmes spécifiques, les activités du projet et sa réussite. Au niveau local, des efforts seront faits pour susciter l'intérêt des populations à intégrer l'importance des agro-écosystèmes forestiers pour le

développement local et à comprendre comment le projet pourrait contribuer à améliorer le bien-être des populations locales.

- Le programme de sensibilisation pourrait inclure la production de supports destinés à la presse (brochures, posters, panneaux d'information, articles de journaux), la radio ou la télévision, de supports virtuels : développement de sites web, ou événementiels : compétition scolaire, etc. Les écoles des milieux ruraux et les élèves des pays associés pourraient manquer de fournitures scolaires et des stylos, cahiers, porte-clés ou jeux comportant les noms des arbres ou de cultures et des posters des principaux arbres locaux pourraient être distribués (voir les coûts chiffrés par le coordinateur).
- Une conférence internationale sera organisée sur la fixation du sol par les végétaux au cours du projet et les partenaires du projet y présenteront les méthodes, les modèles et les résultats en cours (pour plus d'information consulter section 4). Le travail en cours sera rédigé dans les actes de la conférence (édition spéciale d'un journal international).

1.3 Formation

Le projet *Ecosfix* donnera l'occasion unique à de jeunes gens de se former au poste d'ingénieur agro-écologique, en tenant compte particulièrement de la protection et de la gestion des pentes forestières ou cultivées. De nombreux jeunes chercheurs seront formés par le projet, y compris les chercheurs des pays associés. L'équipe d'Ecosfix, avec l'EUG fera la promotion du besoin d'ingénieurs agro-écologiques et en formant effectivement de jeunes gens à un tel projet, l'intérêt pour la carrière d'ingénieur agro-écologique sera mis en évidence. Le coordinateur passera à l'étape supérieure et déclenchera la mise en place d'une formation sur la fixation du sol pour les ingénieurs (agro)écologiques (qui sera mis en place après la conférence organisée en 2012). Cette formation sera la première étape à la création possible de modules de formation sur la fixation du sol par les végétaux, formation qui sera intégrée dans le cursus universitaire des écoles d'ingénieur comme AgroParisTech par exemple (voir section 4) ou dans les universités virtuelles.

Risques liés ou retards possibles

Il pourrait y avoir des difficultés à mobiliser les parties prenantes à participer à la Méthode Accélérée de Recherche Participative (RRA). Des partenaires locaux pourraient avoir besoin de faire du porte-à-porte si les participants aux réunions des communautés ne se présentent pas à celles-là. Dans ces cas, il est sage de négocier avec le Chef du village.

Tâches du WP	Participants Responsables
1.1 Coordination de projet	AMAP - A. Stokes
1.2 Transfert de technologie	AFAF –A. Colomb
1.3 Formation	AMAP – A. Stokes

Livrables

- Développement d'une page WEB sur le projet
- Analyse de résultats des RRA et questionnaires
- Production d'un programme de sensibilisation

Délais impartis et résultats attendus

	Mois
• Mise en ligne d'une page WEB sur le projet	1
• Réunions du groupe d'utilisateurs finaux	12, 24, 36
• RRA Méthode Accélérée de Recherche Participative	6
• Mise en place du programme de sensibilisation	6-36

1.3.2 WP 2.

Inventaire, Caractérisation et Harmonisation des données de terrain

Numéro de l'atelier:	WP2
Date ou événement de démarrage :	Start of project
N° du Partenaire coordinateur:	2 – CIRAD
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 4, 5, 6, 8
Nombre de Mois-homme par partenaire:	1[15] 2[4] 4[6] 5[30] 6[4] 8[3]

Objectifs

Un réseau existant de 4 sites expérimentaux sera utilisé pour tester la fiabilité des modèles génériques dont le but est de prédire l'instabilité de la pente, le processus d'érosion, d'ascenseur hydraulique et la séquestration du carbone. Des données provenant de sites présentant différents types de processus d'instabilité gravitaire, forêts, pentes, structures du sol seront utilisées comme variables pour le modèle dans le WP5. Les sites varient d'une forêt de protection française subalpine à des agroforêts méditerranéennes et tropicales en passant par des agro-écosystèmes. Il est nécessaire de décrire ces sites expérimentaux sur la base d'un même schéma si possible, en respectant des procédures normalisées, pour une comparaison facilitée des données et des résultats apportés par le modèle. Un inventaire sera entrepris pour déterminer les données qui sont déjà disponibles sur site et les besoins requis par chaque modèle. Les données sur la topographie, les caractéristiques physiques du sol, les relations hydriques et la végétation seront collectées pour une utilisation spécifique dans les WP4 et WP5. Les caractéristiques des espèces seront intégrées dans la base de données Pl@ntNote au WP6.

Description des tâches

2.1 Harmonisation des données de terrain afin de fournir des données valides à la modélisation

Afin de pouvoir mettre en application les modèles développés dans le WP5, il est nécessaire d'inventorier, de décrire, de normaliser et d'harmoniser les procédures de collecte des données et la méthodologie dans le but de garantir la cohérence, la qualité et la fiabilité des données de saisie qui serviront de variables pour la modélisation d'éléments issus à la fois des végétaux et du sol. Puisque les modèles ne sont pas spécifiques à un site en particulier mais sont génériques à tout site qui dépend d'un processus d'instabilité gravitaire, l'harmonisation de l'échantillonnage des données est plus que nécessaire. Cet objectif sera accompli, en tout début de projet, en déterminant le cahier des charges à respecter pour obtenir les données à saisir dans les modèles. Un inventaire des données existantes sur chaque site sera dressé, afin de déterminer quelles données doivent être collectées pour le projet. Ce cahier des charges sera converti en protocole comportant une liste des paramètres absolument nécessaires pour la modélisation avec les descriptions claires et compréhensibles des méthodologies à suivre pour l'acquisition des données de terrain. Quant à l'archivage des données, il est aussi très utile d'avoir des données qui sont comparable en termes de méthodologie. La procédure peut se résumer comme suit :

- Détermination d'un cahier des charges minimum relatif aux modèles
- Inventaire des données existantes par les partenaires concernés
- Détermination d'une méthodologie acceptable et efficace pour obtenir des données supplémentaires
- Normalisation et harmonisation de la méthodologie via des protocoles d'échanges de données

2.2 Description des sites

- Chacun des 'Ecosites' dans le réseau que constituent les sites expérimentaux doit être décrit de manière similaire quant aux besoins requis pour la modélisation au WP5. La topographie,

l'histoire et les facteurs abiotiques qui affectent chaque site doivent également être identifiés à l'aide des critères suivants : cartographie de tous les sites (lorsque celle-ci est manquante, coordonnées géographiques, altitude, orientation géométrique et degré de la pente, type de terrain)

- Détermination des conditions climatiques (précipitations régulièrement échantillonnées, températures de l'air et du sol déjà relevées sur chaque site)
- Histoire des événements catastrophiques et mouvement de masse du substrat

2.3 Caractérisation des Forêts

Si cela n'a pas déjà été réalisé par les partenaires au cours d'autres études, il est nécessaire de caractériser le type de végétation qui pousse sur les sites y compris la structure des peuplements et l'histoire des sites forestiers. La végétation devra être quantifiée périodiquement selon les saisons, puisque les légers glissements de terrain et l'érosion due à l'eau se produisent plus généralement l'hiver pour la zone tempérée ou au début de la saison des pluies pour les climats tropicaux. La taille des populations par espèces permettra la reproduction des mélanges d'espèces dans les modèles et peut également être utile pour une mise à échelle (au WP4). L'architecture élémentaire des pousses sera quantifiée, puisque les processus d'érosion due à l'eau peuvent être modifiés par le type de couvert végétal (des mottes d'herbes sont plus efficaces dans la prévention de l'érosion superficielle que des espèces présentant des tiges individuelles avec de larges feuilles (Norris et al. 2008). Les services qui peuvent être apportés par chaque espèce végétale devraient être déterminés, par exemple la production, répond-elle à des besoins de cultures, du fourrage, le bois ou est-elle destinée à d'autre utilisation ethnobotanique ?

- Détermination des espèces présentes sur le site (à deux périodes / an) et tri par groupe fonctionnel
- Détermination de la taille de la population pour chaque espèce (à deux périodes / an)
- Caractérisation de l'architecture élémentaire pour chaque espèce (hauteur, distribution, diamètre et nombre de tige)
- Histoire du peuplement dans les zones forestières (plantations, coupes, opérations d'abattage)
- Hauteur des arbres et diamètre à hauteur de poitrine pour tous les arbres d'un peuplement ainsi que leur position au sein de celui-ci.
- Histoire des zones agroforestières : série chronologique de la croissance des arbres, hauteur de l'élagage, opération de coupes, schéma de gestion des cultures intercalaires et rendement.

2.4 Caractérisation et fonctionnement du sol

L'humidité du sol et sa cohésion sont des facteurs dominants à court terme influençant le schéma et la dynamique racinaire ainsi que la stabilité de la pente et l'érosion due à l'eau. Pour comprendre et modéliser ces processus, il est essentiel de caractériser la porosité du sol et son comportement mécanique. Une comparaison inter-site nécessitera la collecte d'information sur le contexte géo-mécanique, l'hydrologie, l'érosion, l'histoire des glissements de terrain, etc. sur une portion d'échelles spatiales.

(i) Contexte relatif à l'hydrologie et aux glissements de terrain (à l'échelle du site expérimental ou du bassin versant) :

- inventaire des légers glissements de terrain dans les zones étudiées (Chamrousse, France et Laos) et observation des profils pour identifier la profondeur d'un plan potentiel de rupture.
- caractérisation des interactions entre conditions hydrologiques et zone affectée d'instabilité gravitaire par un rapprochement teneur en eau / suivi de la nappe phréatique (voir iv)

(ii) Processus d'érosion

Sur les trois sites présentant un processus d'érosion, on mesurera l'infiltration, écoulement de surface, et l'érosion de la surface du sol à l'aide de rhizotrons sur parcelles érodées d'1m² (cf. Pierret et al., 2007). On accordera une attention toute particulière aux caractéristiques de la surface du sol y compris à la litière, les constructions de la pédofaune, la rugosité du terrain et la croûte sur la surface en

utilisant la méthode décrite par Chaplot et al. (2007), Podwojewski et al. (2008), de Rouw et al. (2010). L'érosion par ravinement, avec laquelle la stabilité gravitaire peut être une des formes majeures de perte en sol à l'échelle du bassin versant (Valentin et al., 2005), sera mesurée comme le décrit Chaplot et al. (2005ab).

(iii) Caractéristiques de profils de sol (depuis la surface jusqu'aux couches accessibles en pratique - > 2m):

- Description élémentaire des caractéristiques générales du sol sur chaque site. On se concentrera sur les caractéristiques physiques qui affectent i) la structure du sol et la séquestration du carbone, c'est-à-dire la distribution de taille de particules (texture), minéralogie de l'argile, densité des particules (pour estimer la porosité totale), présence d'oxydes ou d'hydroxydes ferreux et ii) les caractéristiques physiques du sol par exemple les limites d'Atterberg. Les caractéristiques chimiques qui influencent la minéralisation et la séquestration du carbone, comme le pH du sol par exemple, feront l'objet d'un suivi. Ces mesures seront réalisées sur des échantillons perturbés prélevés sur des horizons pédogénétiques de sols identifiés à l'aide de méthodes classiques de laboratoire.

- Des cylindres de sol non perturbés (de 5m de haut et de diamètre) seront prélevés à différentes profondeurs du sol en fonction des profondeurs d'enracinement et du glissement de terrain. Ces échantillons seront utilisés pour mesurer la porosité totale du sol et la distribution de tailles des pores (caractérisation du drainage vs capacité du stockage de l'eau).

- On mesurera la résistance mécanique à la pénétration sur des cylindres similaires en utilisant des pénétromètres manuels classiques (sur tous les sites). Des échantillons non perturbés de sol seront ainsi prélevés simultanément pour caractériser la porosité, la teneur en eau et la résistance mécanique.

- la cohésion du sol en jachère sera déterminé sur tous les sites à l'aide du test de la boîte de cisaillement directe dans des conditions saturées (norme ASTM D3080 – 04: voir aussi le WP4). La cohésion du sol est nécessaire à la fois pour les modèles de glissement de terrain et d'érosion du sol (WP5).

v) La teneur en eau et la nappe phréatique feront l'objet d'un suivi sur toute la durée de l'année

- A Restinclières le niveau de la nappe phréatique est mesuré toutes les deux semaines, avec des sondes à neutrons jusqu'à 3m de profondeur et des piézomètres. Le site à Chamrousse nécessitera d'être équipé d'un système similaire. A Luang Prabang le potentiel matriciel est enregistré tout au long de l'année et des tubes TRIME TDR sont utilisés pour assurer le suivi de la teneur en eau du sol à proximité des tubes d'accès des minirhizotrons. De plus il y a des piézomètres distribués dans le bassin versant qui permettent de suivre la nappe phréatique. A Aquiares (Costa Rica), la teneur en eau du sol est enregistrée jusqu'à 4.5 m par TDR et FDR, 5 piézomètres sont équipés avec des plongeurs automatiques dans la nappe phréatique, une canalisation automatique enregistre le débit et la turbidité, un modèle global d'équilibre hydrique décrit la répartition de l'équilibre hydrique et 6 parcelles (1000 m² chacunes, la moitié comportant des arbres, l'autre moitié sans arbres) mesurent la perte d'interception des eaux de pluie, le ruissellement superficiel, l'érosion et l'infiltration. (voir également le WP4)

Risques liés ou retards possibles

Les analyses prévues dans le cadre du WP 2.4 ont pour objectif de comparer les situations de terrain entre elles et de les comparer aux données déjà publiées par ailleurs pour d'autres sols. Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de suivre les protocoles 'standard' (normes iso) utilisés de manière internationale. Or ces protocoles prévoient un séchage à 105°C ou un séchage à l'air avant analyse, recommandation que nous allons suivre dans ce WP.

Certaines analyses de sol seront réalisées en France (analyse des agrégats par exemple), il sera nécessaire d'importer du sol en provenance de l'étranger et de prendre en considération les procédures d'hygiène à l'importation. Il est nécessaire de tenir compte des délais si on ne veut pas qu'ils deviennent des contretemps (notamment ceux dus aux mesures de quarantaine dans les laboratoires de Montpellier et de Bondy).

La nature du sol en elle-même peut ne pas permettre la réalisation de certains tests, par exemple si celle-ci est trop rocailleuse, les tests de cisaillement directs ne seront pas possibles.

Tâches du WP	Responsable Participants
2.1 Harmonisation des données terrain afin de garantir la cohérence des saisies pour la modélisation	BIOEMCO – A. Pierret
2.2 description de site	CEMAGREF – F. Bourrier
2.3 Caractérisation des forêts	CIRAD – C. Jourdan
2.4 Caractérisation do sol	BIOEMCO – C. Hartmann

Livrables

- Inventaire des données existantes disponibles et méthodologie du protocole d'acquisition des données à obtenir
- Caractérisation de la taille des populations pour mise à échelle au WP5
- Caractérisation du type de sol et de la structure des forêts pour la saisie des données (WP5)
- Comprendre la dynamique de l'eau du sol

Délais impartis et résultats attendus

	Months
• Inventaire des données existantes sur les <i>Ecosites</i>	3
• Développement du protocole de transfert des données	3
• Collection des données (exceptées pour le suivi des parcelles d'érosion et pour la dynamique d'humidité du sol)	12
• Analyse des données	18
• Chapitre dans le manuel détaillant la méthodologie de terrain	36

1.3.3 WP 3

Quantification des traits racinaires

Numéro de l'atelier:	WP3
Date ou événement de démarrage :	Mois 3
N° du Partenaire coordinateur:	3 - CEFE
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 3, 4, 5, 6
Nombre de Mois-homme par partenaire :	1[12] 2[18] 3[60] 4[20] 5[41] 6[2]

Objectifs

Le but de cet important atelier est de mesurer les traits des systèmes racinaires profonds/superficiels qui fixent (ou pas) le sol et le protègent (ou pas) de légers glissements de terrain, d'érosion due à l'eau, qui séquestrent le carbone et contribuent à l'ascenseur hydraulique. Nous testerons si :

- la composition de la communauté végétale (mesurée au WP2) affecte les traits racinaires,
- les traits racinaires fonctionnels/structurels ont un impact sur les mécanismes de contrôle du sol, la fixation du carbone et l'ascenseur hydraulique (mesuré au WP4),
- l'importance de l'espèce dominante pour la fixation du sol et du carbone et pour les relations hydriques.

En ce qui concerne la fixation du sol, nous mesurerons les traits des racines superficielles/profondes impliquées dans l'ancrage du végétal c'est-à-dire la distribution racinaire horizontale et verticale, la profondeur d'enracinement, l'ontogénèse, l'architecture, le pourcentage de radicules et la résistance à la traction.

Quant à la fixation du carbone, nous mesurerons les trois principaux éléments de stockage du carbone : la croissance racinaire, le renouvellement et la décomposition ainsi que les traits morphologiques et chimiques liés à ces éléments. Le choix définitif de traits à mesurer sera déterminé après discussion et recherches dans la littérature (voir le WP6).

Nous mesurerons comment la croissance racinaire évolue avec le temps (échelle annuelle) à l'aide de rhizotrons déjà sur place sur trois sites (Chamrousse, France; Costa Rica and Laos) et à l'aide de nouveaux rhizotrons qui seront installés à Restinclières (France). Les rhizotrons déjà en place ont plus d'un an, ils conviennent bien par conséquent pour des études à venir sur la fixation du carbone (Strand et al 2008). Nous déterminerons également le synchronisme de la croissance racinaire avec les événements climatiques et avec les données environnementales. Les informations relatives aux traits seront envoyées à la base de données Pl@ntNote et serviront de variables pour la modélisation (WP5).

Du fait que les rhizotrons sont en nombre limité et restent intacts pendant toute la durée de la période de mesure, on ne peut les utiliser pour déterminer les traits racinaires. Par conséquent, ceux-ci seront déterminés par excavation et échantillonnage pour augmenter le nombre de données collectées dans l'optique des analyses statistiques et pour évaluer l'hétérogénéité spatiale. Nous nous concentrons sur différentes structures forestières qui comprennent des arbustes et herbacées graminoides et non graminoides pérennes et annuels. Les traits des racines superficielles/profondes seront mesurés à la fois au niveau de la communauté (traits agrégés) et au niveau de l'espèce en se ciblant les espèces clés sur chaque site ; le choix des espèces sera déterminé après l'analyse des données végétales collectées au WP2.

Description des tâches

3.1 Extension racinaire et renouvellement dans les rhizotrons

La première tâche sera de mesurer la croissance racinaire dans les rhizotrons déjà en place. Bien que ceux-ci diffèrent en taille et en type (de minirhizotrons composés de tubes transparents d'1m83, de

7cm de diamètre, insérés à 45° dans le sol à des macrorhizotrons de plexiglas d'1m² fixés à des tranchées sub-verticales), les données sur la croissance racinaire sont comparables. L'extension racinaire et le renouvellement seront mesurés toutes les deux semaines (Thongo et al., 2008) et sur une année complète (la croissance racinaire active ayant été mesurée les mois d'hiver à 1 700 m a.s.l. Chamrousse). Lorsque les mesures seront terminées, de nombreux logiciels existent pour analyser les images racinaires. Nous utiliserons RhizoDigit (CIRAD) et WinRhizotron (Regent, Inc.) pour déterminer le taux d'extension racinaire au cours du temps. Tous les rhizotrons sont équipés de capteurs pour relever la température au sol et les précipitations. Des analyses seront conduites sur comment les événements environnementaux affectent la croissance. En ce qui concerne les données relatives à l'humidité du sol, des sondes TDR sont/seront installées (WP2) très près du lieu où les observations sur la dynamique racinaire sont effectuées, afin d'obtenir une compréhension plus précise des relations entre croissance racinaire et dynamique de l'eau du sol. L'estimation des paramètres architecturaux racinaires (émission des racines, croissance axiale et radiale, ramification séquentielle, la réitération, la transition, le décès et l'abscission) et l'intégration seront réalisées à l'aide de Roottyp (Pagès et al. 2004) ; les taux d'élongation racinaire par mesures morphologiques du bout de la racine (Pagès et al. 2009).

3.2 Détermination des différents stades d'ontogénèse

Le stade d'ontogénèse d'un végétal joue un rôle très important dans la détermination de sa fonction. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de mener une étude qualitative pour déterminer l'âge approximatif d'une racine (on ne peut difficilement se fier à des marqueurs d'âge, comme les anneaux annuels de croissance et les bourgeons qui sont inexistantes sur les racines). La position des racines au sein du système racinaire sera déterminée et, par leur épaisseur, la hiérarchie des ramifications, et leur forme nous pourrons attribuer un rôle aux racines superficielles et profondes (après analyses avec d'autres données du WP6).

3.3 Mesure des traits des systèmes racinaires superficiels/profonds

A l'échelle de la communauté : sur chaque *Ecosite*, 4 à 6 parcelles dont la composition des communautés végétales et le degré de déclivité différeront, seront choisies afin de représenter un éventail assez large de caractéristiques racinaires. En raison du fait que les traits des agrégats des communautés racinaires sont fortement influencés par les espèces dominantes dans l'environnement proche de la zone d'échantillonnage, un nombre important de carottes de sol (ou des blocs de 0.5 x 0.5 m x 0.5 m³ – selon la nature du site et du sol) sera prélevé et groupé afin de pouvoir intégrer l'hétérogénéité spatiale. Par ce carottage extensif, ou les mesures des racines dans des blocs de sol, nous serons capables de schématiser la distribution racinaire dans une unité de terrain donnée. Nous déterminerons la profondeur racinaire, la biomasse et la longueur des racines sur des intervalles de 10 cm. La composition chimique racinaire (C, N et fibres) et la morphologie, la longueur des racines, leur diamètre, la densité des tissus estimés à l'aide du logiciel Winrhizo©, par exemple, seront mesurés pour les racines profondes et superficielles.

A l'échelle de l'espèce : Une caractérisation racinaire détaillée sera quantifiée pour chaque espèce identifiée comme étant principale car ces données sont essentielles pour le WP4. La mesure des traits racinaire à l'échelle de l'espèce nécessite de réaliser des excavations importantes afin de récolter l'intégralité du système racinaire. En supplément des traits morphologiques et chimiques, nous mesurerons les traits liés à l'architecture, à la morphologie des espèces isolées (n = 15 pour chaque espèce), en enregistrant les données immédiatement dans WinRhizo (pour les petits systèmes) et dans XPlo (logiciel d'analyse de l'architecture conçu par AMAP : <http://amap-dev.cirad.fr/projects/xplo/wiki>) pour les systèmes racinaires plus grands.

3.4. Décomposition racinaire

Des échantillons de racines superficielles et profondes, récoltés à l'échelle de la communauté, de même que les racines des espèces dominantes seront séchés à l'air, déposés dans des sacs à litière et

entreposés sous terre, en profondeur ou dans la zone superficielle, dans le profil du sol. Les sacs à litière seront récoltés deux fois par an pendant 2 ans afin de déterminer la biomasse restante et le taux de décomposition racinaire.

Risques liés ou retards possibles

Il se peut qu'il ne soit pas réalisable de procéder à l'excavation des systèmes racinaires des arbres arrivés à maturité sur certains sites comme à Chamrousse, Isère par exemple qui est une forêt de protection et fortement touristique. Par conséquent, nous obtiendrons la permission de procéder à l'excavation d'arbres situés à proximité sur des peuplements moins fragiles. Bien que la croissance racinaire soit influencée par l'environnement immédiat, certains aspects sont inhérents (Stokes et al. 2009), c'est pourquoi les données relatives à l'architecture devraient être transposables.

Selon les conditions des sites, il n'est pas toujours réalisable d'insérer des carotteuses en profondeur en raison de la présence de pierres ou de grosses racines ; De fait, les blocs et les profils de sols devront être creusés manuellement, ce qui prend plus de temps mais nous nous y sommes préparés.

Le diamètre des racines est difficile à mesurer avec précision, une analyse microscopique sera peut-être nécessaire.

Tâches du WP	Responsable Participants
3.1 Extension racinaire et renouvellement dans les rhizotrons	CIRAD – C. Jourdan
3.2 Détermination des stades de l'ontogénèse	AMAP – M. Ghestem
3.3 Mesures des traits du système racinaire	CEFE – C. Roumet
3.4. Décomposition racinaire	CEFE – C. Roumet

Livrables

- Chapitre méthodologie (pour le guide pratique) pour déterminer les traits racinaires choisis
- Variations des traits dans les traits des racines superficielles et profondes
- Effets de la composition de la communauté végétale sur les traits racinaires, en collaboration avec le WP2
- Impacts des traits racinaires sur la fixation du sol et du carbone, en collaboration avec le WP4
- Impacts des traits racinaires morphologiques et chimiques sur les taux de renouvellement et de décomposition

Délais impartis et résultats attendus

	Mois
• Réunion pour décider quels traits racinaires seront mesurés et quelles méthodes seront employées	1
• Sélection des parcelles pour chaque <i>Ecosites</i> en collaboration avec le WP2	3
• Sélection des espèces dominantes sur lesquelles les traits seront mesurés à l'échelle de l'espèce	3
• Détermination des traits racinaire à l'échelle de la communauté	6
• Echantillonnage des racines pour l'expérience sur la décomposition & installation des sacs à litière	6
• Détermination des stades de l'ontogénèse racinaire	18
• Détermination des traits racinaires à l'échelle de l'espèce	18
• Détermination de la croissance racinaire et du renouvellement dans les rhizotrons (toutes les 2 semaines pendant 2 ans)	27
• Récolte finale des sacs à litière	27

1.3.4 WP4

Services écosystémiques – Fixation du Sol, relations hydriques et Séquestration du Carbone

Numéro de l'atelier:	WP4
Date ou événement de démarrage :	Mois 6
N° du Partenaire coordinateur:	5 - BIOEMCO
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 4, 5, 6
Nombre de Mois-homme par partenaire:	1[6] 2[3] 4[20] 5[61] 6[4]

Objectifs

Les racines fines améliorent la stabilité du sol et sa résistance à la dispersion par l'eau (érosion) en augmentant le nombre et le diamètre des agrégats stables à l'eau. L'activité microbienne et les exsudats racinaires gouvernent principalement ces processus (Puget et al., 1999; Six et al., 2000; Izquierdo et al., 2005) de paire avec la nature chimique intrinsèque du sol (Barthes et al 2008). Toutefois, peu de recherches ont été réalisées sur l'influence des caractéristiques racinaires c'est-à-dire la géométrie, la topologie et la force mécanique des racines, sur la formation et la stabilité des agrégats, bien que plusieurs études ont démontré que la biomasse racinaire, la densité et la longueur de densité jouent un rôle important (Ghidey and Alberts, 1997; Six et al., 2004). Le lien entre la stabilité des agrégats et la cohésion du sol et comment chacun est affecté par la présence des racines est très peu documenté (Frei et al 2003). C'est la raison pour laquelle nous étudierons la stabilité des agrégats sur des sols superficiels et profonds et déterminerons la relation entre les caractéristiques racinaires, la physique du sol et les propriétés chimiques (WP2).

On mesure la quantité de carbone organique du sol (SOC) à partir de la fraction de la taille de la racine fine qui comprend des composés organiques liés à l'activité racinaire. Les principaux objectifs de cette tâche sera de :

- 1) quantifier l'incorporation de matière organique provenant des racines au sol,
- 2) obtenir un aperçu dynamique des effets de l'activité racinaire, de la pénétration dans ce qui retient la matière organique du sol et de la composition dans le proche voisinage des racines sous la forêt et après récolte.

Les quantités de racines et de SOC seront déterminées à différentes profondeurs. L'incorporation racinaire dans le sol environnant sera déterminée en utilisant les isotopes C et N stables et des mesures par spectroscopie à infrarouge transformée de Fourier (FTIR).

Nous testerons l'occurrence de l'ascenseur hydraulique c'est-à-dire lorsque l'eau est extraite par les racines profondes dans les couches humides et profondes, puis est remontée vers les racines superficielles pour être libérée le lendemain vers les couches superficielles du sol. Ces ascenseurs peuvent modifier la compétition entre les plantes en fonction de la transpiration ; elles peuvent mobiliser les nutriments dans le sol asséché, modifier la stabilité des agrégats et l'infiltration, altérer la résistance du sol à la pénétration par les racines et permettre aux racines de survivre dans un environnement asséché. Nous utiliserons des marqueurs isotopiques pour suivre la trace de l'eau dans le continuum sol-végétal, la tomographie de résistivité électrique (ERT) et des stations d'échantillonnage d'eau par méthode de prélèvement classique directe et indirecte à long terme.

Description des tâches

4.1 Influence des racines sur la stabilité des agrégats du sol

A partir des sites expérimentaux présentant des processus d'érosion, détermination du degré de l'agrégation et de la stabilité de l'agrégat par la méthode normalisée décrite dans la norme [ISO/CD 10930](#) et développée par Y. Le LeBissonais, UMR LISAH (sous-traitant du Partenaire n° 1, Le

Bissonais 2005). Des échantillons d'un volume de sol déterminé seront effectués à deux profondeurs à près d'un m² de parcelles érodées associées aux rhizotrons. Les racines seront enlevées et la géométrie et topologie mesurées à l'aide du logiciel d'imagerie WinRhizo©. Des analyses chimiques (texture, minéralogie argileuse, teneur en CaCO₃, SOC, oxydes et hydroxydes de Fer et d'Aluminium) seront effectuées afin d'étudier si les propriétés chimiques intrinsèques au sol sont plus déterminantes dans la stabilité des agrégats que l'architecture des racines et leur activité. La présence de carbone lié à la racine dans le sol sera mesurée à partir d'échantillons de sol sur deux profondeurs pour la même parcelle, afin de déterminer l'existence d'une relation entre la cohésion du sol et la stabilité des agrégats.

4.2 Influence des racines sur la cohésion du sol

Pour le sol de Chamrousse, nous déterminerons l'effet racinaire sur la cohésion du sol par analyse en laboratoire d'échantillons prélevés à l'aide d'une boîte de cisaillement. Pour cette tâche nous adapterons spécialement pour ce projet une boîte à cisaillement d'une dimension particulièrement grande (La boîte Casagrande du Cemagref d'Aix). Cette boîte, unique en France, permet des tests de cisaillement sur des matériaux bruts y compris des végétaux et des racines. Après le cisaillement, nous ôterons les racines et déterminerons leurs traits (comme au WP3). Des données seront également utilisées comme variables pour le WP5.2.

4.3 Parcours du carbone lié aux racines.

A chaque intervalle de temps (approche diachronique) il sera nécessaire de comparer la composition isotopique des racines avec celle des parties aériennes pour chaque type de couvert végétal. Des mesures antérieures réalisées au Laos ont montré que la différence entre les feuilles et les racines des cultures annuelles et des jachères n'excède pas 0.4 ‰. A partir des observations *in-situ* de la distribution racinaire (complétées par des études micro morphologiques), des échantillons et une séparation physique de fractions de sol organique seront effectués en fonction de l'activité racinaire locale, comme, par exemple, la modification locales des conditions d'oxydoréduction et l'abondance (évaluée sur les mêmes échantillons). Nous nous concentrerons sur la caractérisation des zones de pénétration racinaire profonde en analysant le différentiel des rapports ¹³C/¹²C et ¹⁵N/¹⁴N (Huon et al 2006; Gebauer and Schultze 1991). En nous basant sur les contrastes des signatures isotopiques entre racines et matière organique du sol environnant, nous tenterons de mettre en évidence les effets possibles de l'activité racinaire sur la re-minéralisation du carbone C stabilisé, comme Fontaine et al. (2007) l'ont mis en évidence récemment. Des contraintes supplémentaires sur la pénétration racinaire et sur le taux de renouvellement seront réalisées pour les zones non perturbées en mesurant le Δ¹⁴C à l'aide du maximum des retombées de ¹⁴C* dû aux essais nucléaires réalisés dans l'atmosphère lors de la période 1950-1970 (Trumbore 1996) ou à l'aide de la différence d'âge apparent entre les racines récentes et les sols environnants à différente profondeur de sol. Cela permettra de mesurer la dynamique de la matière organique du sol profond. Du fait que les exsudats racinaires et la matière organique racinaire présentent des compositions différentes, l'abondance relative de plusieurs fonctions chimiques (notamment carboxyle, alcool, hydrocarbures) varie en tant que fonction de l'origine de la matière organique et change en fonction de l'âge des racines (Quénéa et al 2005). La spectroscopie FTIR nécessite de petites quantités de sol ou de racines et les résultats s'obtiennent rapidement, ce qui permet l'analyse de nombreux échantillons et la détermination de profils de sol.

4.4 Absorption de l'eau et redistribution hydrique

Pour démontrer l'existence d'un ascenseur hydraulique dans les espèces s'enracinant profondément, il est essentiel d'identifier l'origine de l'eau et son évolution sur les sols superficiels pendant les cycles nyctéméraux. Cela peut être réalisé à l'aide du marquage isotopique à l'oxygène 18 (¹⁸O) et au deutérium (²H), (Dawson et al., 1993, Caldwell et al., 1998) et en comparant l'évolution de la signature isotopique de l'eau du sol à celle de l'eau collectée dans le tronc d'arbre sur une période de 24h. Les marqueurs isotopiques conventionnels (¹⁸O, ²H) seront injectés en profondeur (à

Restinclières, Chamrousse et au Laos). Des échantillons de sol superficiel, de tronc et de chaumes, prélevés à différents intervalles de temps après l'injection des marqueurs, permettra, une fois l'eau extraite et l'analyse de la composition isotopique réalisée, d'évaluer l'existence et la magnitude du phénomène d'ascenseur hydraulique. Au Costa Rica, les isotopes ^{18}O et ^2H font déjà l'objet de suivis dans les sols, les eaux superficielles et les aquifères dans le but de tester l'effet des racines sur l'infiltrabilité du sol. Les variations de la teneur en eau seront mesurées par diverses méthodes combinées :

- des méthodes de prélèvement direct avec stations d'échantillonnage (échantillonnage pour analyse gravimétrique, mesures tensiométriques du potentiel hydrique du sol et observation du niveau de la nappe phréatique par piézomètre),
- des méthodes de prélèvement indirect (profil du volume d'humidité du sol à l'aide de sondes à neutrons ou par réflectométrie en domaine temporel).

Ces mesures seront réalisées 4 fois par an pour couvrir l'état hydrique général du sol dans les régions tempérées et tropicales (au milieu de la saison sèche, à la fin de la saison sèche, à mi saison et à la fin de la saison des pluies, à la saison des pluies). Ces mesures seront également répétées quotidiennement ou de façon hebdomadaire (sur une période de plusieurs jours consécutifs), selon les précipitations.

Les méthodes classiques seront complétées par une analyse géophysique par tomographie de résistivité électrique ERT. L'avantage de coupler les méthodes classiques de mesure de la teneur en eau du sol avec des méthodes géophysiques est que cela permet une meilleure compréhension du flux de l'eau dans la zone non saturée : 1) cela permet d'identifier de façon non invasive l'extension des différentes couches du sol et 2) les variations des ERT au cours du temps servent d'indicateurs particulièrement pertinents des modifications de la teneur en eau du sol dans la zone non saturée. Les mesures ERT seront répétées quotidiennement ou de façon hebdomadaire pour valider la représentativité des observations locales. Cela fournira des données pertinentes pour mettre à l'échelle du bassin versant les résultats provenant des stations. En concurrence, une expérience spécifique sera conduite par des travaux sur les isotopes pour mettre en évidence l'ascenseur hydraulique, sur la base d'un échantillonnage par heure ; un tel intervalle sur les mesures ERT permettra très certainement l'évaluation indirecte des variations dans la teneur en eau du sol, liées au phénomène soupçonné d'ascenseur hydraulique.

Risques liés ou retards possibles

Analyse de la stabilité des agrégats :

Les échantillons de sol seront conservés et transportés après séchage et tamisage sur site (pour éviter toute altération dans l'activité biologique qui pourrait affecter la stabilité structurale). Les échantillons doivent être conservés immobiles dans des boîtes rigides afin que la stabilité structurale soit préservée. Un protocole complet est disponible au lien suivant : <http://www.enquetes-publiques.afnor.org/secteur-industrie/pr-nf-iso-10930.html>

Analyse mécanique

Le projet prévoit le prélèvement d'échantillons intacts de 50 par 50 cm. Le prélèvement des échantillons sera fait selon les normes géotechniques relatives aux échantillons intacts, à savoir la réalisation d'un creusement périphérique de l'échantillon de sol à prélever (à la mini-pelle ou à la main), de manière à ne pas toucher l'échantillon. Ensuite, l'échantillon sera extrait ou décollé par un protocole à définir précisément (mini-pelle avec une plaque métallique par exemple), et mis in situ directement dans le boîtier PVC 50 par 50 cm. Le boîtier sera ensuite paraffiné de manière à conserver la teneur en eau de l'échantillon, puis transporté avec soin en limitant les secousses de transports jusqu'au laboratoire de mécanique des sols pour essais.

Analyse chimique

Il est effectivement nécessaire d'importer les échantillons de sol en France pour réaliser les analyses prévues. Une salle homologuée et installée dans l'ex-laboratoire de Science du sol de l'IRD à Bondy

(actuellement dans l'UMR 7618 Bioemco) permet l'importation légale de sols selon les règles sanitaires en vigueur. Les échantillons seront pré-traités sur le terrain avant leur exportation en France. Sur le bassin versant du Laos un petit laboratoire installé par l'IRD existe déjà et devrait permettre de conditionner les sols en évitant leur évolution pendant le transport. Le laboratoire comporte des étuves, des réfrigérateurs, un congélateur, des unités de filtration et un petit appareillage de mesures sur le terrain (cylindres de densité, pH-mètres...). De plus, il est aussi possible d'utiliser les installations du "laboratoire Sols" du NAFRI (National Forest and Agricultural Institute), le partenaire laotien situé à Vientiane.

Le séchage à 110°C des sols suivi d'un conditionnement en sacs étanches devrait suffire pour les analyses de C organique et N total des matières organiques car, si le traitement thermique (tout comme la congélation) modifient la structure et les propriétés physiques du sol, il joue relativement peu sur la teneur et la composition des matières organiques (Deacon, L.J. et al., 2008. Simultaneous preservation of soil structural properties and phospholipid profiles: a comparison of three drying techniques. *Pedosphere*, 18, 3, 284-287). Pour les analyses par FTIR des matières organiques des sols, nous envisageons une double préparation sur le terrain avec: 1) séchage d'un aliquot et, 2) congélation d'un deuxième aliquot avec lyophilisation dès son arrivée en France. La deuxième méthode étant plus proche de la méthode la plus conservatrice (qui est la lyophilisation). La congélation sera aussi utilisée pour les analyses de matière organique dissoute (en rapport avec l'étude des systèmes racinaires). Le transport et l'exportation en France se feront par containers refroidis par carbo-glace (acheminés par exemple par Air France Cargo). Ce mode de transport a déjà été utilisé dans l'UMR Bioemco dans le cadre de la Thèse de doctorat W. Thothong (UPMC 2009). Les échantillons nous sont parvenus dans leur état de congélation initiale plusieurs jours après l'expédition. Dans le cas où l'évolution redox des échantillons est déterminante pour la suite des analyses nous envisageons de prélever et placer les échantillons sous atmosphère inerte avec remplissage de petits sacs étanches à l'aide d'une bonbonne d'azote gazeux achetée sur place.

La caractérisation de l'activité racinaire suppose un contraste isotopique suffisant entre les racines et la matière organique du sol environnant. Si le contraste entre les deux n'est pas statistiquement significatif, le travail se concentrera alors sur la quantification du stockage du carbone organique lié aux racines en tant que fonction de couvert végétal pour ce qui concerne l'approche diachronique du système racinaire par intervalle de temps, les approches synchroniques avec comparaison directe entre les cultures récemment introduites et le sol environnant.

Un travail géophysique préliminaire au Laos montre de nettes différences dans les variations ERT de la saison sèche à la saison des pluies, entre les pentes couvertes de végétation issue de jachère qui regroupent certainement des végétaux aux racines fonctionnelles profondes et des pentes couvertes par les cultures annuelles dans lesquelles les racines actives sont probablement plus superficielles. Ces observations fournissent une preuve que les mesures géophysiques de surface peuvent être conduites à l'échelle de cette étude et qu'elles peuvent être utilisées pour extrapoler les résultats obtenus à l'échelle locale à ceux du petit bassin versant. De manière similaire, le marquage isotopique et les échantillonnages conjoints ont été réalisés à de maintes reprises par l'équipe, par conséquent le risque lié à la réussite de ce travail est relativement faible.

Tâches du WP4	Participants Responsables
4.1 Influence des racines sur la stabilité des agrégats du sol	AMAP (LISAH) – Y. Le Bissonais
4.2 Influence des racines sur la cohésion du sol	Cemagref – L. Peyras
4.3 Parcours du carbone lié aux racines	BIOEMCO – S. Huon
4.4 Absorption d'eau et redistribution hydraulique	BIOEMCO – T. Bariac

Livrables

- Comprendre le rôle des racines sur la stabilité des agrégats du sol comparé à la structure chimique inhérente

- Comprendre la contribution des racines à la cohésion du sol
- Quantification du parcours du carbone lié aux racines dans les structures forestières complexes
- Détermination de la redistribution hydraulique dans les communautés végétales complexes

Délais impartis et résultats attendus	Mois
• Tests sur la stabilité des agrégats du sol	14
• Analyses chimiques du sol	15
• Tests de cohésion du sol	14
• Mesures des traits racinaires de 4.1 à 4.2	15
• Mesures isotopiques du carbone du sol	27
• Mesures isotopiques de la redistribution hydraulique	27
• Mesures de la résistivité électrique	27

1.3.5 WP 5

Déterminer les compromis entre les services racinaires par la modélisation intégrée

Numéro de l'atelier:	WP5
Date ou événement de démarrage :	Mois 12
N° du Partenaire coordinateur:	4 - SYSTEM
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 3, 4, 5, 6,
Nombre de Mois-homme par partenaire:	1[22] 2[2] 4[32] 5[9] 6[34]

Objectifs

Les objectifs scientifiques principaux de ce WP sont : 1- d'aider à comprendre les mécanismes sous-jacents de l'interaction racine-sol impliqués dans des services écosystémiques donnés à l'échelle des végétaux et du peuplement ; 2- d'identifier la variété des traits racinaires (voir la section sur le WP3) dont le système a besoin pour se maintenir dans les limites acceptables requises pour un ensemble de services écosystémiques donnés, c'est-à-dire trouver les compromis entre ceux-ci ; 3- quantifier l'impact des scénarios de gestion sur un ensemble de services écosystémiques.

Ces objectifs peuvent être accomplis en interfaçant des modèles de différente nature, par exemple en couplant les modèles relatifs aux propriétés physiques du sol et aux végétaux. Ces modèles peuvent être statiques, c'est-à-dire concerner un système à un temps t donné, ou dynamiques, c'est-à-dire qu'ils prennent en compte la croissance végétale et ses interactions fonctionnelles avec le substrat du sol. Par exemple, la libération de carbone dans des horizons de sol profond ou les propriétés mécaniques et hydrologiques du sol dépendent fortement du taux de renouvellement des racines fines, ce qui est très peu documenté pour ce qu'il en est des racines profondes. On peut également s'attendre à une forte interaction avec la dynamique de l'engorgement transitoire qui nécessite un modèle intégré de croissance végétale pour prédire le décès racinaire à différentes profondeurs. Toutefois, l'injection de carbone dans les horizons profonds peut ne pas être séquestrée si certaines sur ou sous-minéralisation (« priming effect ») se produisent comme le suggère Fontaine et al., 2007.

A l'échelle opérationnelle (du peuplement ou du paysage), la description continue de la localisation des racines ou la croissance racinaire sera encouragée. Ces descriptions (nombre de racines, biomasse, diamètre, longueur ou angles d'orientation, par exemple) permettent aux données sur les racines d'être représentées sous la forme de fonctions généralisées de densité. Des modèles continus peuvent bénéficier de la connaissance de l'architecture des végétaux, qui peut être directement enrichie par les mesures effectuées sur le terrain ou les simulations virtuelles basées sur les modèles architecturaux comme Roottyp (Pagès et al., 2004), AMAPsim-DigR (Barczy et al., 2008).

Ce WP comptera fortement avec les modèles existants par exemple pour calculer le coefficient de sécurité d'une pente (Factor of Safety 'FOS' : probabilité de rupture du sol) en fonction des légers glissements de terrain, de l'érosion et de la quantification du carbone (modèle Hi-sAFé, Malézieux et al., 2008). Garantir un couplage efficace entre les modèles relatifs au sol et aux racines nécessitera de définir clairement une structure dynamique des données par laquelle les deux modèles pourront saisir et obtenir des données, en d'autres termes des paramètres de saisies ou de sorties, qui soient pertinents pour chacun des modèles. Les informations disponibles dans une structure de ce type comportant les données du sol seront partagées par tous les modèles spécifiques aux services écosystémiques considérés. Des simulations seront comparées entre 1- les modèles qui prennent en compte les données interpolées relatives à la distribution racinaire provenant des quelques carottages et 2- les données relatives à la distribution racinaire provenant d'une description plus précise des traits

racinaires effectué à l'échelle des végétaux. Ce travail préliminaire aidera à définir de façon optimale les protocoles de prélèvement qui pourront être appliqués systématiquement à grande échelle.

Description des tâches

5.1 Déterminer et représenter les traits racinaires à l'échelle du terrain

Afin d'évaluer les traits racinaires qui sont impliqués dans un service écosystémique donné, il est possible d'utiliser des modèles mécanistes qui prennent en compte la description explicite de l'architecture racinaire (see Dupuy et al., 2007). En plus des expériences de terrain, des analyses numériques de sensibilité ou des schémas expérimentaux peuvent aider à quantifier l'impact des caractères géométriques, topologiques ou fonctionnels sur les processus physiques comme la fixation du sol ou l'absorption d'eau. Néanmoins, cette approche, qui utilise une description précise de l'architecture racinaire, prend du temps et ne peut être appliquée à grande échelle. A ce niveau, il est recommandé d'utiliser des modèles continus qui corrént les facteurs racinaires par l'utilisation de fonctions généralisées de densité (Bonneu et al. 2009; Dupuy et al., 2010). Lorsque des traits racinaires spécifiques sont définis pour un service écosystémique donné ou un ensemble de services, ils peuvent être intégrés dans des modèles numériques correspondants, sous la forme d'attributs quantitatifs ou qualitatifs, comme la densité racinaire ou la cohésion additionnelle, afin d'évaluer l'effet des schémas de végétation choisis, ou pour déterminer des schémas qui permettent de conserver le système dans un état ou un niveau de sécurité acceptable. Ces données peuvent être apportées par des modèles continus ou extraites à partir d'une description explicite de l'architecture racinaire à l'aide d'un logiciel spécialisé (logiciel Xplo développé par l'UMR AMAP, voir également Jourdan et Rey, 1997). L'architecture racinaire végétale peut être donnée directement par les données morphologiques mesurées sur le terrain ou par des modèles de simulation comme le Roottyp (Pagès et al. 2004) ou l'AMAPsim-DigR (Barczi et al., 2008).

5.2 Modélisation de la stabilité des versants à faible déclivité

Les modèles sur la stabilité des versants à faible déclivité reposent sur le couplage entre la mécanique du sol, l'hydrologie et la distribution racinaire. Les traits racinaires choisis sont inclus localement comme la cohésion additionnelle, calculée à partir de modèles de renforcement. Parmi ces modèles, le modèle Fibre Bundle (Pollen and Simon, 2005, 2009) est le plus efficace car il prend en compte les mécanismes principaux impliqués dans la rupture de l'ensemble sol-racines, c'est-à-dire les ruptures successives des racines en tension et le cisaillement de l'interface sol-racines. La stabilité des versants, c'est-à-dire le coefficient de sécurité d'une pente (FOS) est calculé à l'aide de méthodes des éléments finis (FEM). Cette technique numérique très connue est très efficace et permet de simuler, visualiser et analyser tous les mécanismes de rupture des versants, y compris le renforcement racinaire, même dans le cas de sols hétérogènes. Les pentes dont les propriétés physiques et la distribution de la végétation sont hétérogènes seront modélisées à l'aide du modèle FEM 3D 'ForSlope3' développé à l'AMAP par Kokutse et al. (2006). Les paramètres de saisie de ForSlope3 se divisent en trois catégories : 1- la géométrie du versant, 2- les propriétés mécaniques du sol, essentiellement la cohésion du sol, l'angle de frottement, la densité; 3- la distribution et les caractéristiques de la végétation, c'est-à-dire la position/densité des plants individuels, la dimension et la forme du système racinaire, la distribution des propriétés racinaires (densité racinaire, force de tension racinaire – qui sera transformée en facteur de cohésion additionnelle) et 4- la profondeur de la nappe phréatique et la conductivité de l'eau du sol. Les données locales seront disponibles sous la forme d'une structure des données de sol commune à tous les modèles (voir ci-dessus).

5.3 Modèles d'érosion

Plusieurs modèles d'érosion linéaire en griffe ou rigole (comme Mhydas - Modélisation HYdrologique Distribuée des AgroSystèmes, Moussa et al 2002 et STREAM - Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management, Cerdan et al 2002) et d'érosion par ravinement (comme

Chaplot 2005b) seront testés et comparés. Ils seront étalonnés sur chaque site avec des données existantes et celles fournies par le WP2. Les modèles se baseront sur les conditions de la surface (couvert et résidu végétal, rugosité de la surface), les paramètres hydrauliques (infiltrabilité), les paramètres du sol (cohésion, stabilité des agrégats) et de déclivité (angle, longueur). Les résultats exprimeront la quantité d'infiltration, de ruissellement et d'érosion. Jusqu'à présent aucun modèle d'érosion ne prend complètement en compte la présence des racines, bien que la densité des traits racinaires et celle de la longueur racinaire aient été incluses dans les modèles d'érosion en rigole, en griffe ou par ravinement (Gyssels et al 2005). Il est également fait établi que les racines améliorent la cohésion du sol (see Norris et al 2008). Par conséquent, en déterminant comment la cohésion du sol est influencée par la densité racinaire dans différentes situations (WP 5.1), il est possible de manipuler la cohésion du sol dans les modèles d'érosion, pour refléter la présence des racines. Les traits racinaires et les valeurs de cohésion seront donc manipulés et inclus dans les modèles et la contribution des divers paramètres souterrains et aériens seront déterminés pour différents types d'érosion.

5.4 Quantification du carbone influencé par le renouvellement racinaire

Le modèle adoptera un formalisme d'automate voxelaire (modèle Hi-sAFe) pour simuler la dynamique racinaire et les processus de compétition et de facilitation entre plantes annuelles et pérennes à long terme (plusieurs dizaine d'années (Malézieux et al., 2008). Nous l'utiliserons pour explorer divers plans de gestion et règles de décision pour gérer des systèmes basés sur des arbres. Le contraste entre les différents sites expérimentaux sera utile pour étendre le domaine de validité du modèle et pour permettre d'identifier les processus que l'on suppose génériques des processus spécifiques à leur site expérimental. L'accent sera porté sur la sensibilité du modèle à la durée de vie des racines fines à différentes profondeur du sol, puisque il avait été noté que cela représentait un facteur de sensibilité clé pour le modèle. Tout effet de sur ou sous-minéralisation (priming effect : décomposition de vieille MOS résultant de l'incorporation de litière fraîche de racines) sera étudié. Le modèle est capable d'apporter des profils dynamiques de la densité des racines fines et de la biomasse des grosses racines en 3D qui peuvent être incorporés, en forçant les variables, dans les modèles de stabilité de la pente et d'érosion de surface.

5.5 Couplage des modèles

Tous les modèles partageront les informations locales du sol par une structure de données dynamiques commune. Le rapprochement entre les modèles sur la stabilité des versants à faible déclivité, la quantification du carbone et l'érosion reposera sur les résultats obtenus à partir de modèles informatiques sur l'architecture du système racinaire et sur la croissance racinaire développés au WP3. Les modèles sur l'architecture et la croissance racinaire fournissent des renseignements sur l'évolution au cours du temps de la densité des racines fines et structurales, de leur taille et de leur répartition spatiale. Ces informations peuvent être intégrées dans les différents modèles pour évaluer l'évolution au cours du temps de la stabilité de la pente, de la séquestration du carbone et de la réduction d'érosion dues à la végétation. On rapprochera alors l'évolution au cours du temps de l'efficacité du système racinaire afin d'identifier les compromis entre traits racinaires à l'échelle de la pente pour ces trois services écosystémiques. Le résultat principal que l'on attend est de pouvoir évaluer la compatibilité du trait racinaire optimal pour les services écosystémiques étudiés.

De plus, les rapprochements des résultats nous permettront de définir les lignes directrices pour le guide pratique destiné aux utilisateurs finaux. Ces lignes directrices serviront de base pour le système d'aide à la décision (DSS) développé au WP6.

Risques liés ou retards possibles

Aucun n'a été envisagé.

Tâches du WP	Responsable Participants
5.1 Déterminer and représenter les traits racinaires à l'échelle du terrain	AMAP – H. Rey
5.2 Modélisation de la stabilité des pentes	AMAP – T. Fourcaud
5.3 Modèles d'érosion	BIOEMCO – C. Valentin
5.4 Quantification du carbone influencé par le renouvellement racinaire	INRA – C. Dupraz
5.5 Couplage des modèles	CEMAGREF – F. Bourrier

Livrables

- Comprendre les mécanismes d'interaction sol-racines dans des services écosystémiques donnés à l'échelle de la plante et du peuplement.
- Quantification de l'impact des scénarios de gestion sur un ensemble de services écosystémiques

Délais impartis et résultats attendus

	Mois
• Mise à échelle des traits racinaires du niveau individuel au niveau de la communauté	21
• Modélisation des effets des traits racinaires sur la cohésion du sol	21
• Modélisation des effets de la cohésion du sol sur le coefficient de sécurité des pentes	27
• Tests et étalonnage des modèles d'érosion	21
• Inclusion dans les modèles d'érosion de l'influence des traits racinaires sur la cohésion du sol	27
• Simulation de la dynamique racinaire et influence sur la quantification du carbone	27
• Intégration des résultats des modèles pour déterminer les compromis entre services	30

1.3.6 WP6

Exploration des données et aide à la décision

Numéro de l'atelier:	WP6
Date ou événement de démarrage :	Début du projet
N° du Partenaire coordinateur:	8 - CATIE
N° des autres Partenaires impliqués:	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Partenaires impliqués par [mois] :	1[14] 2[1] 3[15] 4[6] 5[27] 6[10] 7[11] 8[12]

Objectifs

Le vaste nombre de données qui existent déjà et qui seront produites dans ce projet ont besoin d'être administrées afin que 1) tous les partenaires puissent avoir un accès facile à toutes les données pour leur analyses et que 2) les données soient centralisées, harmonisées, vérifiées et reproduites sous une forme adéquate pour une intégration facile dans les modèles. La tâche initiale sera de décider quels sont les traits racinaires des systèmes qui devraient être mesurés. Par conséquent, une exploration de la littérature sera entreprise de pair avec des groupes de discussions, pour décider des traits à mesurer dans le WP3 et le WP4 et des méthodes à utiliser. Les terrains peuvent être organisés au sein de la base de données du projet. Une comparaison entre les différents *Ecosites* ne sera possible que si les partenaires utilisent des protocoles adoptés d'un commun accord pour la récolte des racines et les mesures des traits racinaires. Une fois le travail de terrain achevé, l'exploration des données sera entreprise par cet atelier et utilisera les données de la base de données, relatives aux traits, pour une perspective globale expliquant comment les types de forêts altèrent les traits fonctionnels et physiques des racines superficielles/profondes.

Les résultats seront inclus dans un système d'aide à la décision (DSS) et les échanges participatifs avec le comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux seront encouragés afin que les critères et les scénarios soient pratiques et le système facile d'utilisation. Main dans la main avec ce DSS, un guide pratique électronique sera réalisé.

Description des tâches

6.1 Choix des traits à étudier dans le projet

Les traits racinaires à mesurer dans ce projet feront l'objet d'une discussion lors de la réunion de lancement du projet. Il est nécessaire de déterminer les variables requises pour les modèles utilisés dans le WP5 ainsi que les traits fonctionnels et structurels qui pourraient différer entre racines superficielles et racines profondes. Nous aurons besoin également de déterminer comment les différents traits contribuent à différents services écosystémiques. Une exploration de la littérature sera réalisée au cours des trois premiers mois afin de déterminer une liste des traits racinaires. Parmi tous les traits possibles répertoriés, ceux du projet doivent remplir cinq conditions : (i) concerner fortement un des quatre services écosystémiques à l'étude ; (ii) être utile au développement des modèles du WP5 ; (iii) utiliser des méthodes qui peuvent être normalisées chez tous les partenaires et sur tous les sites, (iv) présenter des différences entre les racines superficielles et profondes (v) être relativement facile à mesurer. Les traits concernant la stabilité des pentes ont été largement déterminés (Stokes et al 2009) alors que les données restent maigres en ce qui concerne les processus d'érosion (Gyssels et al 2005; Burylo et al 2009). Les traits concernant la séquestration du carbone concernent principalement la biomasse racinaire, la décomposition et les taux de renouvellement qui sont difficiles à mesurer, consomment beaucoup de temps et sont sujets à des problèmes techniques (Strand et al. 2008), et le rôle de la composition chimique et des traits structurels est rarement pris en considération. Pour ce qui relève de la redistribution hydraulique, nous avons trouvé peu de données sur les traits améliorant la redistribution ; elles sont généralement liées à la profondeur de l'enracinement ou à la structure du

xylème (Scholz et al 2008). Une fois que nous aurons décidé quels sont les traits qu'il faut mesurer, il sera alors possible d'établir un protocole normalisé, approuvé par tous, pour chaque trait à mesurer. Parce que les systèmes racinaires varient considérablement dans l'espace et le temps, le protocole de récolte des racines a besoin de faire l'objet d'une discussion particulière. Les terrains expérimentaux nécessaires dans la base de données du projet seront alors créés (WP6.2)

6.2 Mise au point de la base de données

Nous utiliserons la base de données actuelle, "Pl@ntNote," développée par le Partenaire N°1 AMAP dans le projet fédérateur "Pl@ntNet" (<http://www.agropolis-fondation.fr/fr/nos-actions/programmes-etendards/pl-ntnet.html>). Les données peuvent être ajoutées par chaque partenaire puis ajoutées à la version mère via internet. Pl@ntNote permet d'être enrichie de données pour les particuliers (localisation géographique, espèces, caractéristiques, environnement, type de sol, photographies, traits aériens et racinaires). Pl@ntNote peut alors être interrogée et les données peuvent en être extraites (Fig.5) pour une analyse ultérieure.

6.3 Analyse des données relatives au trait racinaire en vue d'une perspective globale

Les données provenant de tous les *Ecosites* seront extraites de Pl@ntnote et analysées ensembles afin de tester la configuration générale i) du rôle du site ou des facteurs abiotiques et des traits racinaires sur le sol, la fixation du carbone et l'ascenseur hydraulique et ii) des traits racinaires et de leurs fonctions.

Rôle du site ou des facteurs abiotiques et des traits racinaires sur les services écosystémiques. Les analyses des données seront menées comme le suggère Diaz et al. (2007). La procédure consiste à i) identifier les facteurs abiotiques ou biotiques qui affectent chaque service écosystémique et ii) construire des modèles utiles de simulation concernant ces services. La procédure est articulée autour de 4 étapes :

- L'étape 1 testera l'effet des facteurs abiotiques sur chacun des 4 services mesurés. Les variables abiotiques expliquent souvent un certain nombre de processus écosystémiques, spécialement lorsque les échantillons de terres sont représentatifs de divers climats et sols ou lorsque de grandes échelles spatiales sont représentées comme c'est le cas avec le projet *Ecosfix*. Nous veillerons, par conséquent, à ce qu'il existe un lien continu au sein des facteurs abiotiques tels que le sol, le degré de la pente, la profondeur, la température de l'air, l'humidité et les propriétés chimiques du sol (WP2) en rapprochement avec les services écosystémiques mesurés par le WP4. Cela sera testé au sein des 4 *ecosites* et entre eux.

- L'étape 2 évaluera si les traits racinaires exercent une fonction sur les services écosystémiques. La proportion relative de différentes formes de croissances ou de groupes fonctionnels (les arbres, les arbustes, monocotylédones ou dicotylédones, fixateurs d'azote...) seront également pris en considération. Un simple trait peut suffire à expliquer la variation des services écosystémiques, comme, par exemple, la profondeur d'enracinement peut expliquer la stabilité du sol ou le renouvellement des racines explique le stockage du carbone ; toutefois il est courant que les variations des services écosystémiques soient expliqués, lors des situations très contrastées, par de multiples traits (syndrome de traits).

- L'étape 3 testera le rôle des espèces particulières. Si les services écosystémiques ne peuvent pas être expliqués de façon satisfaisante par les facteurs abiotiques et les traits des agrégats de racines, il est alors possible qu'ils soient associés d'une manière significative et continue à l'abondance ou aux traits d'une espèce particulière. Cet effet idiosyncratique sera examiné en ciblant les espèces les plus abondantes ou celles dont on sait qu'elles exercent une forte influence sur les processus du sol.

- L'étape 4 a pour objectif de trouver le modèle de prévision le plus proche de la réalité en combinant les facteurs abiotiques et les données sur les traits. Les facteurs individuels étudiés des étapes 1 à 3 pourraient fournir des prévisions significatives des services écosystémiques. De plus, combiner ces modèles pourrait accroître la précision des prévisions. Il est donc nécessaire de tester de nombreuses combinaisons de facteurs abiotiques et biotiques et de retenir le modèle final qui prend en compte le plus grand nombre de variables. Le modèle comprendra des variables que l'on aura jugées pertinentes

lors des étapes 1 à 3, à l'aide d'un procédé par étape où la complexité est introduite progressivement au modèle jusqu'à ce que le degré de prévision atteigne un niveau satisfaisant. Le modèle le plus parcimonieux sera choisi selon les critères Akaike. Les relations entre les services écosystémiques et facteurs abiotiques et les traits racinaires (étapes 1 à 3) seront mises à l'épreuve en utilisant des modèles linéaires généralisés.

Configuration générale des traits racinaires et fonctions. Des avancées impressionnantes ont été réalisées sur la compréhension des stratégies écologiques des végétaux en se concentrant sur les traits foliaires et plus récemment sur les traits ligneux (Chave et al. 2009), cependant on a accordé moins d'attention sur les traits racinaires. A partir d'une base de données globale sur les traits foliaires, Wright et al. (2004) ont mis en évidence un « spectre économique foliaire » démontrant que les traits foliaires co-diffèrent d'une façon qui dépend très peu des caractéristiques environnementales : les feuilles à courte durée de vie présentent une masse foliaire faible par unité de surface, une concentration élevée en azote et un taux de photosynthèse important, alors que l'inverse est vrai pour les feuilles à longue durée de vie. Les traits racinaires mesurés au niveau des espèces sur les sites *d'Ecosfix* fournissent une excellente opportunité pour tester l'existence d'un spectre économique racinaire. Par analogie sur les feuilles, nous faisons l'hypothèse que les racines à courte durée de vie présentent des traits liés à la croissance et à l'acquisition des ressources rapides (longueur importante des racines spécifiques, c'est-à-dire petit diamètre et/ou concentration élevée en azote sur faible densité des tissus) alors que les racines à longue durée de vie présentent des traits liés à la conservation des ressources (grosses racines avec densité de tissu élevée). Nous formulons également l'hypothèse que ce compromis est également valide à l'échelle de l'écosystème. A l'aide d'analyses multivariées, nous vérifierons en premier lieu si les racines co-varient, puis nous vérifierons l'existence d'un compromis à l'échelle de la racine et de l'écosystème.

6.4 Système d'aide à la décision

Un système d'aide à la décision (DSS) développé par le coordinateur a déjà été développé dans le but de déterminer la probabilité d'un événement et ses conséquences, par exemple, risque de tempête de vent dans une plantation forestière ou risque de glissement de terrain sur un terrain en pentes (Mickovski et al 2005; Jouneau and Stokes 2006). Ce DSS se présente sous la forme d'une plateforme à laquelle des données, des modèles ou des résultats peuvent être incorporés. Ecrit en Java, il est facile à modifier et disponible en version open source pouvant être hébergée sur les pages web du projet. Nous incorporerons (i) les descriptions sur comment les traits des racines superficielles et profondes diffèrent selon le type de forêt et la présence d'espèces mixtes (ii) le facteur de sécurité de la pente (FOS), les résultats sur les simulations de la stabilité de la pente (après réalisation de simulations dans le WP5) (iii) la quantité de ruissellement et d'érosion dans différentes situations (après réalisation de simulations dans le WP5) et comment le renouvellement racinaire influence la comptabilité du carbone. Selon les résultats de la modélisation intégrée et des compromis émergeant du WP5, nous proposerons également un certain nombre de critères liés aux gestions/effets du site sur la productivité (agro)forestière. Chaque critère correspondra à un effet prévu dans un scénario donné sur les services racinaires écosystémiques (par exemple, mélange des espèces sur la densité des racines profondes et par conséquent sur la cohésion du sol). Le DSS comprendra une base de données avec les valeurs pour les services écosystémiques pour les différents types de végétation et proposera un jeu de données relatif aux conséquences de telle gestion et des scénarios pour les différents sites qui pourront être utilisés pour donner de la pertinence aux critères ci-dessus mentionnés. L'interaction avec le comité représentant le groupe d'utilisateurs finaux est essentielle dans ce WP afin de garantir la validité et fournir un système facile d'utilisation. On demandera aux utilisateurs finaux de : (i) saisir leurs propres critères supplémentaires comme les coûts par exemple, ou les impacts sociaux et environnementaux ; (ii) déterminer une valeur de préférence pour chaque critère ; (iii) décider de la pertinence à donner à chaque critère, (iv) obtenir la classification de toutes les compositions (agro)forestières qu'ils veulent comparer, de la composition la moins préférable à la plus préférable, selon tous les critères (v) avoir la possibilité d'évaluer la robustesse de la classification en faisant varier les paramètres (pertinence, valeur de préférence, etc.).

6.5 Guide pratique de production

Il est impératif qu'un manuel électronique comportant des lignes directrices destinées aux utilisateurs finaux et aux parties prenantes soit produit en détail afin de mettre en valeur les services écosystémiques racinaires en fonction de différent type de végétation, gestion ou climat. Ce manuel « Guide pratique pour améliorer la fixation du sol et du carbone des différents systèmes (agro)forestiers » “**Guidelines for Improving Soil and Carbon Fixation in Different (Agro)Forest Systems**” comprendra les résultats de ce projet et les données et informations provenant d'une exploration de la littérature et des échanges participatifs avec les utilisateurs finaux. Ce manuel sera disponible sur le site internet du projet mais aussi en version CD-Rom. Une des tâches les plus importantes dans la réalisation de ce manuel sera la production d'un film décrivant chaque site, la recherche entreprise et les résultats obtenus, mais également les suggestions pour améliorer les services écosystémiques racinaires par différentes méthode de gestion. Le groupe d'utilisateurs finaux sera consulté pour ce qui concerne leurs contributions/suggestions à incorporer au manuel et pour l'utilité du manuel qui sera développé.

Risques liés ou retards possibles

Mobiliser les utilisateurs finaux à participer à la validation du système d'aide à la décision.

Tâches du WP	Participants Responsables
6.1 Choix des traits à étudier dans le projet	CIRAD – C. Jourdan
6.2 Mise au point de la base de données	AMAP – P. Birnbaum
6.3 Analyses des données relatives au trait racinaire pour une perspective globale	CEFE – C. Roumet
6.4 Système d'aide à la décision	AMAP – A. Stokes
6.5 Production d'un manuel d'utilisation	CATIE – T. Benjamin

Livrables

- Identification des services que les racines fournissent en fonction des traits structurels/fonctionnels
- Comprendre la configuration des traits racinaires et leur fonction dans le temps et l'espace
- Influence des facteurs des sites sur les services écosystémiques racinaires
- Développement d'un système d'aide à la décision
- Production d'un guide pratique électronique pour les utilisateurs finaux

Délais impartis et résultats attendus

Délais impartis et résultats attendus	Mois
• Choix des traits à étudier	3
• Mise au point de la base de données	6
• Etude des effets abiotiques sur les services racinaires	24
• Etude de l'influence des traits racinaires sur les services écosystémiques	24
• Etude de l'influence des espèces sur les traits et les services	24
• Etude du meilleur modèle pour déterminer les effets des facteurs abiotiques et les données racinaires sur les services	24
• Etude des configurations des traits et fonctions racinaires	30
• Production d'un système d'aide à la décision	33
• Echanges avec les parties prenantes pour modifier la modélisation et valider le DSS	36
• Production d'un film décrivant les méthodes et les résultats pour chaque site	33
• Production d'un guide pratique électronique destiné aux utilisateurs finaux	36

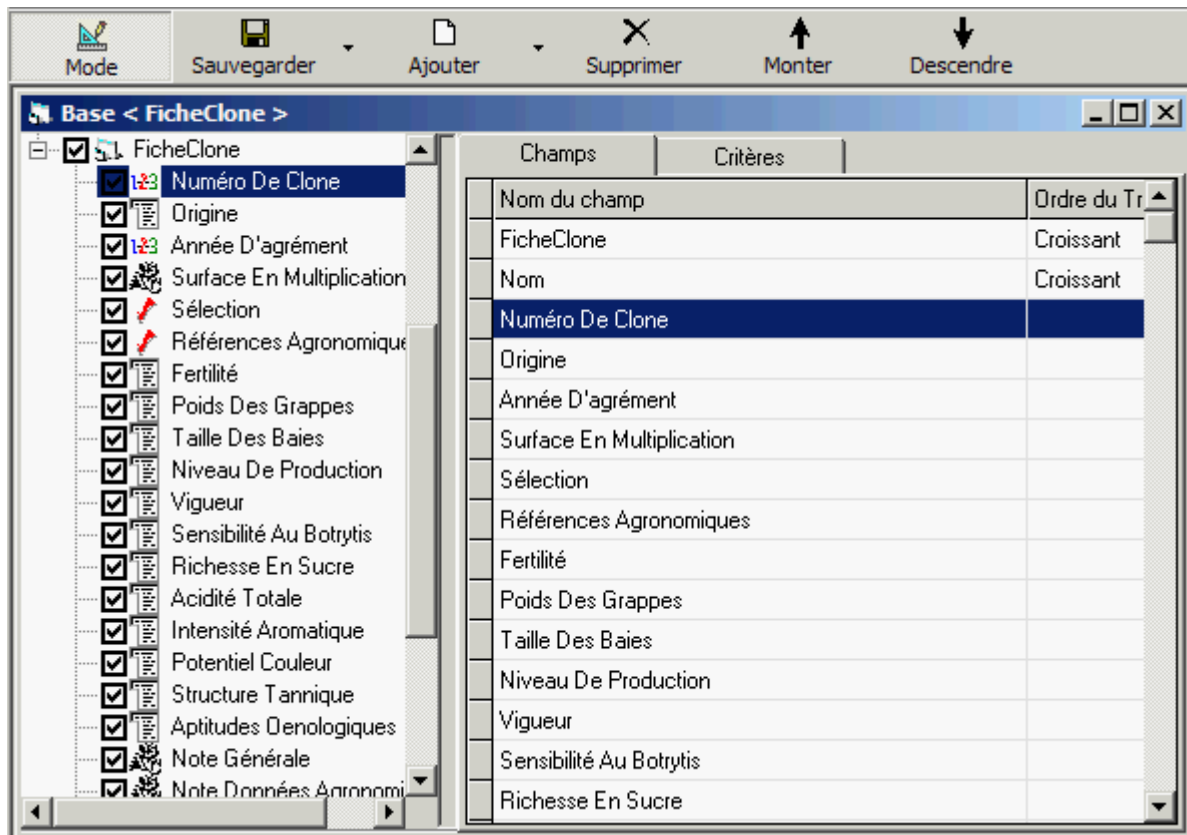


Fig. 5 Il est possible d'extraire les données désirées depuis PI@ntNote et de réaliser une analyse statistique avec un logiciel différent (un exemple pour la production viticole est présenté)

1.4. CALENDRIER DES TACHES, LIVRABLES ET JALONS

CALENDRIER DU PROJET (Tableau de Gantt)

WP	No.	Mois												
		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Coordination du Projet, Sensibilisation et Formation	1													
1.1 Circulation de l'information	1.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.2 Sensibilisation et Transfert de Technologie	1.2			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.3 Formation	1.3		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Inventaire, Caractérisation et Harmonisation des données de terrain	2													
Harmonisation des données de terrain afin de fournir des données valides à la modélisation	2.1	x	x											
Description des sites	2.2	x	x	x										
Caractérisation des Forêts	2.3	x	x	x	x	x								
Caractérisation et fonctionnement du sol	2.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Quantification des traits racinaires	3													
Extension racinaire et renouvellement dans les rhizotrons	3.1		x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Détermination des différents stades d'ontogénèse	3.2			x	x	x								
Mesure des traits des systèmes racinaires superficiels/profonds	3.3				x	x	x	x	x	x				
Décomposition racinaire	3.4					x	x	x	x	x	x			
Services écosystémiques – Fixation du Sol, relations hydriques et Séquestration du Carbone	4													
Influence des racines sur la stabilité des agrégats du sol	4.1			x	x	x	x							
Influence des racines sur la cohésion du sol	4.2				x	x	x							
Parcours du carbone lié aux racines	4.3				x	x	x	x	x	x	x			
Absorption de l'eau et redistribution hydrique	4.4				x	x	x	x	x	x	x			
Déterminer les compromis entre les services racinaires par la modélisation intégrée	5													
Déterminer et représenter les traits racinaires à	5.1					x	x	x	x					

l'échelle du terrain														
Modélisation de la stabilité des versants à faible déclivité	5.2						x	x	x	x	x			
Modèles d'érosion	5.3						x	x	x	x	x			
Quantification du carbone influencé par le renouvellement racinaire	5.4						x	x	x	x	x			
Couplage des modèles	5.5							x	x	x	x	x		
Exploration des données et aide à la décision	6													
Choix des traits à étudier dans le projet	6.1	x	x											
Mise au point de la base de données	6.2		x	x										
Analyse des données relatives au trait racinaire en vue d'une perspective globale	6.3					x	x	x	x	x	x	x		
Système d'aide à la décision	6.4										x	x	x	x
Guide pratique de production											x	x	x	x
Réunions du projet		Mp		G		CR		Mp		L		Mp		G

Mp =
Montp
ellier,
G =
Greno

ble, CR = Costa Rica, L = Laos

Liste des délais impartis

Etape No	Titre	Date de livraison	Participants	Description
1	Production d'un programme de sensibilisation (OIP) et d'une Méthode Accélérée de Recherche Participative (RRA)	M6	1,2,3,4,5,6,7,8	Une liste des activités/mesures et des attitudes à conserver envers les (agro)forêts autour des sites sera tenue disponible au consortium. L'OIP aura été développé avec l'aide du comité du groupe des utilisateurs finaux
2	Détermination des traits racinaires qui fixent le sol et séquestrent le carbone de meilleure façon	M30	1,2,3,4,5,6	Recherche dans la littérature. Quantification des traits par le profil de sol dans différents types de végétation. Analyses des résultats à partir des tests sur la cohésion et sur la stabilité des agrégats du sol. Analyses isotopiques du carbone lié aux racines dans le sol.
3	Comprendre la redistribution hydraulique	M30	2,5,8	Suivi des relations hydriques dans le profil de sol à l'aide de marqueurs isotopiques et la résistivité électrique du sol. Détermination de la relation avec l'architecture racinaire.
4	Comprendre la croissance racinaire, structure et fonction sur différentes échelles spatiales et temporelles.	M33	1,2,3,4,5,6	Analyses des données des rhizotrons au cours des années et des saisons. La mise à l'échelle du niveau individuel au niveau de l'écosystème aura été réalisée. Des analyses globales des schémas des traits structurels et fonctionnels et des effets sur les services écosystémiques racinaires auront été effectuées.
5	Quantification des compromis entre racines et services écosystémiques	M33	1,2,3,4,5,7	A quantification of the underlying root-soil interaction mechanisms involved in given ecosystem services at the plant and stand scales. Identification of the range of root system traits needed to keep the system in acceptable limits required for a given combination of ecosystem services, and quantification of the impact of management scenarios on a set of ecosystem services.
6	Production d'un système d'aide à la décision et d'un guide pratique pour améliorer la fixation du sol et du carbone <i>improving</i> dans différents systèmes (agro)forestiers.	M36	1,2,3,4,5,6,7,8	Un outil d'aide à la décision sera disponible pour déterminer les meilleures options pratiques pour améliorer les services écosystémiques des systèmes racinaires. Un guide pratique pour la plantation et la gestion pour améliorer la fixation du carbone et du sol dans différents types de végétations sera développé sous forme électronique et lié au système d'aide à la décision.

	Liste des WP
--	---------------------

N° du WP	Titre de l'atelier	Responsable participant No	Mois-homme	Mois initial	Mois final	N° des Livrable(s)
1	Coordination du Projet, Sensibilisation et Formation	1	85	0	36	1-3
2	Inventaire, Caractérisation et Harmonisation des données de terrain	2	62	0	24	4-7
3	Quantification des traits racinaires	3	153	3	27	8-12
4	Services écosystémiques – Fixation du Sol, relations hydriques et Séquestration du Carbone	5	94	6	27	13-16
5	Déterminer les compromis entre les services racinaires par la modélisation intégrée	4	99	12	30	17-18
6	Exploration des données et aide à la décision	8	96	0	36	19-23
	TOTAL		589			

Liste des Livrables

Delivrable No	Deliverable title	Delivery date	Risques liés ou retards possibles
1	Développement d'une page WEB sur le projet	M1	-
2	Analyse de résultats des RRA et questionnaires	M6	difficultés à mobiliser les parties prenantes
3	Production (et mise en place) d'un programme de sensibilisation	M6(-36)	-
4	Inventaire des données existantes disponibles et méthodologie du protocole d'acquisition des données à obtenir	M3	-
5	Caractérisation de la taille des populations pour mise à échelle au WP5	M18	-
6	Caractérisation du type de sol et de la structure des forêts pour la saisie des données	M18	L'importation d'échantillons de sol en France peut causer des délais (notamment ceux dus aux mesures de quarantaine et d'hygiène)
7	Comprendre la relation entre les végétaux et le statut hydrique du sol au cours du temps	M24	Des problèmes typiques peuvent survenir avec les enregistreurs de données sur le terrain.
8	Chapitre méthodologie (pour le guide pratique) pour déterminer les traits racinaires choisis	M12	-
9	Détermination des variations de traits dans les traits des racines superficielles et profondes	M18	Les racines 'superficielles' et 'profondes' dépendront de nombreux facteurs, différant ainsi selon les situations. Diamètre des racines fines difficile à mesurer
10	Comprendre les effets de la composition de la communauté végétale sur les traits racinaires	M24	Problèmes pour carotter/ réaliser une excavation sur les terrains difficiles
11	Comprendre l'impact des traits racinaires sur la redistribution hydraulique, la fixation du sol et du carbone	M30	Difficultés à différencier les effets des traits sur les services

12	Comprendre l'impact des traits racinaires morphologiques et chimiques sur les taux de renouvellement et de décomposition	M33	-
13	Analyse de l'influence des racines sur la stabilité des agrégats du sol	M15	-
14	Analyse de l'influence des racines sur la cohésion du sol	M15	-
15	Quantification du parcours du carbone lié aux racines dans les structures forestières complexes	M27	Difficultés à différencier la matière organique du sol de la matière organique racinaire
16	Détermination de la redistribution hydraulique dans les communautés végétales complexes	M27	-
17	Comprendre les mécanismes d'interaction sol-racines dans des services écosystémiques donnés à l'échelle de la plante et du peuplement	M30	Difficultés à obtenir une vision Claire de tous les processus tant à l'échelle individuelle qu'à l'échelle de la communauté
18	Quantification de l'impact des scénarios de gestion sur un ensemble de services écosystémiques	M30	Difficulté à différencier les effets du site, de la gestion et du climat
19	Identification des services que les racines fournissent en fonction des traits structurels/fonctionnels	M24	-
20	Comprendre la configuration des traits racinaires et leur fonction dans le temps et l'espace	M24	Possibilité que le suivi soit trop court
21	Influence des facteurs des sites sur les services écosystémiques racinaires	M30	-
22	Développement d'un système d'aide à la décision	M36	Difficultés de mobiliser les utilisateurs finaux à participer à la validation du système d'aide à la décision
23	Production d'un guide pratique électronique pour les utilisateurs finaux	M36	-