

Projet CIRAD / IRD / AIRD

Elaboration : 31 Mars 2012

**Recherche de compromis entre productions et services
écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers**

(SAFSÉ)

Document principal

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Fiche Projet | 3 |
| 1. Problématique et justifications | 5 |
| 2. Bilan des connaissances | 6 |
| 3. Objectif | 9 |
| 4. Démarche | 9 |
| 5. Schéma d'organisation du projet | 11 |
| 6. Description des Work Packages | 12 |
| WP0 : Animation et coordination du projet autour d'un cadre conceptuel partagé | 12 |
| WP1 : Caractérisation de la composition, de la structure, et de la dynamique du système | 13 |
| WP2 : Services d'approvisionnement et autres services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers, interactions et compromis | 19 |
| WP3 : Analyse des possibilités d'amélioration des SAF (à travers des innovations techniques et institutionnelles) | 25 |
| 7. Résultats attendus à l'échelle du projet et bénéficiaires | 27 |
| 8. Ressources humaines apportées par le projet (étudiants) | 28 |
| 9. Indicateurs d'évaluation | 28 |
| 10. Considérations sur les risques du projet | 28 |
| 11. Implications éthiques | 29 |
| 12. Bibliographie | 29 |
| 13. Financement demandé | 32 |
| 14. Participants | 33 |

| |
|---------------------|
| FICHE PROJET |
|---------------------|

INTITULE: Recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers (SAFSÉ).

MOTS CLES : Services d'approvisionnement, services de support et de régulation, composition et structure des systèmes agroforestiers, dynamique et stratégies des acteurs

COORDONNEES des RESPONSABLES :

Jean-Michel Harmand pour le **CIRAD**,

UMR Eco&Sols - Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes - (Montpellier SupAgro–CIRAD–INRA–IRD) 2 Place Viala (Bat. 12)
34060 Montpellier cedex 2, France

Téléphone : 33 (0) 4 99 61 21 68

Secrétariat CIRAD : 33 (0) 4 99 61 30 46

Courriel : jean-michel.harmand@cirad.fr

Josiane SEGHERI pour l'**IRD**

UMR HSM - HydroSciences Montpellier (CNRS-UM1-UM2-IRD)

Place Eugène Bataillon - CC MSE

F-34095 Montpellier cedex 5, France

Téléphone : 33 (0) 4 67 14 90 72

Télécopie : 33 (0) 4 4 67 14 47 74

Courriel : josiane.seghieri@ird.fr

RESUME

Respectueux de l'environnement et garantissant une sécurité alimentaire soutenue par la diversification des productions et des revenus qu'ils procurent, les systèmes agroforestiers (SAF) apparaissent comme un modèle prometteur d'agriculture durable au Sud. Cependant, l'exploitation optimale des SAF ne peut se faire que sous réserve d'en mieux comprendre et d'en mieux maîtriser les facteurs de production. Le projet propose d'analyser les compromis et les synergies entre les services d'approvisionnement (productions) et les autres types de services écosystémiques (support, régulation) procurés par les SAF. En augmentant ainsi la connaissance des mécanismes biophysiques et socio-économiques sous-jacents au fonctionnement et à la dynamique des SAF, le projet vise à fournir une base générique d'optimisation des compromis entre productions et services écosystémiques pour contribuer à une résilience accrue de ces agro-écosystèmes et des sociétés qui en dépendent.

Les études seront menées dans des situations contrastées, (i) en région tropicale humide, sur des systèmes à base de cultures pérennes (cacao et café principalement), (ii) en région sèche d'Afrique sub-saharienne, sur des parcs arborés et arbustifs supportant des rotations à base de céréales.

Le projet mettra en place un cadre conceptuel partagé et structurant pour les communautés de chercheurs du CIRAD, de l'IRD et de leurs partenaires nationaux au Sud, en s'appuyant sur des dispositifs de recherche en partenariat déjà existants.

1. Problématique et justifications

L'agroforesterie est l'activité qui associe sur les mêmes parcelles une vocation mixte de production agricole annuelle (cultures, pâture) et de production différée à plus ou moins long terme par les arbres (bois, fruits, services). Elle compte parmi les pratiques traditionnelles d'exploitation des sols existant depuis des siècles sur tous les continents. L'agroforesterie peut être considérée comme un modèle prometteur d'agriculture durable, sous réserve d'en mieux comprendre et maîtriser les facteurs de production. En effet, bien que les systèmes agroforestiers (SAF) aient souvent été remis en cause pour leur plus faible production agricole que les monocultures, ils ont une contribution importante à la production globale et au développement du fait de leur part importante dans les surfaces agricoles et les sociétés rurales des zones tropicales.

Les SAF présentent différents atouts comparativement aux monocultures dont les impacts environnementaux et sanitaires ainsi que la vulnérabilité socio-économique risquent de fortement limiter les progrès futurs. De façon générale, les systèmes agricoles sont sources de services écosystémiques, mais aussi de « disservices » (perte de biodiversité, pollution agrochimique, érosion des sols, émissions de GES) (Power, 2010). Comparativement aux monocultures, les SAF déplacent l'équilibre entre la fourniture de services écosystémiques et de « disservices ». Moins consommateurs d'intrants et d'énergie, ils combinent des services écologiques et des productions diversifiées tout en procurant une sécurité foncière. Dans les SAF, les **services d'approvisionnement** sont impactés par la modification du rendement de la culture de base et par de nouvelles productions qui contribuent à la diversification des revenus des producteurs et à leur sécurité alimentaire. Les SAF contribuent aux **services de régulation**, en particulier par le contrôle du cycle et de la qualité de l'eau, la régulation du climat à travers le contrôle des émissions de GES et du stockage de carbone. D'autre part, selon leur composition, leur structure et leur gestion, les SAF peuvent contribuer de façon importante aux **services de support** qui soutiennent les autres services. Parmi ces services on peut citer : la productivité primaire, le contrôle des bioagresseurs, la conservation des sols, la régulation du cycle des nutriments et de l'eau, la préservation de la biodiversité. Ils procurent également des **services culturels** au bénéfice de la communauté. Ils apparaissent donc comme un mode de production potentiellement stable dans le temps et résilient par rapport au changement climatique et à la variation des marchés internationaux. Ils semblent ainsi plus sécurisants que les monocultures pour les communautés rurales qui les pratiquent et les consommateurs qui en dépendent. L'agroforesterie constituerait donc l'une des solutions à mettre en œuvre pour faire face au défi de l'intensification écologique des agro-écosystèmes (produire plus et mieux avec peu d'intrants). Aussi les SAF recèlent-ils un potentiel important d'amélioration de la productivité encore peu exploré, notamment dans les domaines de :

- l'optimisation des interactions arbres-cultures du point de vue de l'utilisation des ressources du milieu et de la diversification des productions,
- le développement de variétés adaptées aux conditions agroforestières,
- la gestion des bio-agresseurs avec peu ou pas de pesticides,
- le maintien d'une biodiversité utile à la productivité primaire et aux services environnementaux,
- la vulnérabilité des systèmes face aux perturbations.

Le projet « SAFSÉ » proposé ici s'inscrit donc dans le cadre actuel d'un intérêt grandissant pour l'agroforesterie comme réponse aux défis majeurs auxquels sont confrontés les pays tropicaux : pauvreté, insécurité alimentaire, changement climatique, perte de biodiversité. En effet, les mécanismes sous-jacents à la résilience supposée des SAF ne sont pas encore bien connus. L'une des causes principales tient au fait qu'ils sont probablement de nature et d'ampleur différentes selon que l'on considère la résilience conférée par les relations

de facilitation/compétition dans le système biophysique et celle conférée par la diversité et la flexibilité de la structure à l'échelle de l'exploitation, ou du territoire, elle-même reliée aux contraintes socio-économiques. Une autre cause importante tient au fait que les politiques publiques en matière agricole, dans les zones tropicales, ont jusqu'alors manifesté peu de considération envers l'agroforesterie du fait même qu'elle y est traditionnelle, préférant souvent concentrer leurs actions sur les monocultures vivrières ou de rente, ou alors faire abstraction de la composante arborée des systèmes. En région tropicale humide, les SAF à base de cultures pérennes sont très répandus. Il existe tout un gradient de complexité de ces systèmes et un gradient d'intensité de gestion. En région sèche en Afrique sub-saharienne, les parcs arborés et arbustifs sont aussi la base d'une agriculture vivrière encore particulièrement précaire. Dans ces deux régions, les SAF connaissent des dynamiques contrastées et sont portés localement par une grande diversité d'acteurs et de pratiques dans des contextes également très différents. C'est cette diversité que le projet « SAFSÉ » a l'ambition d'aborder et de conceptualiser, en fédérant des équipes du CIRAD, de l'IRD et de leurs partenaires nationaux ayant une expérience solide de ces milieux. Les résultats escomptés devraient permettre d'éclairer le choix des acteurs et des décideurs de ces régions entre une sécurité alimentaire immédiate, à la durabilité mise en doute par une vulnérabilité forte aux changements globaux, et une sécurité alimentaire sur le long terme, grâce à une production autonome, diversifiée, contribuant à une résilience accrue des agrosystèmes et des sociétés qui en dépendent.

2. Bilan des connaissances :

Les systèmes agroforestiers à base de caféiers en zone humide :

Exception faite du Brésil, les SAF caféiers constituent plus de 70% des surfaces caféières des régions productrices du monde, et ceci malgré la promotion de la monoculture prônée par la recherche et la vulgarisation agricole durant les dernières décennies (Vaast et Harmand, 2002). La gamme des systèmes comprend des SAF complexes où les caféiers sont associés à un mélange de bananiers, d'essences forestières, d'arbres fruitiers et de cultures vivrières, et des systèmes plus intensifiés avec un ombrage spécialisé, composé d'une à deux essences forestières généralement légumineuses et/ou des espèces de bois d'œuvre et de feu. Ces systèmes caféiers contribuent à la structuration du paysage dans les régions de la présente étude avec des surfaces estimées à 900 000 hectares en Amérique Centrale et 2 000 000 en Afrique de l'Est (FAO 2012). Principalement situés en zones fragiles de montagnes (800-1500 m d'altitude) avec des pluviométries abondantes (1500- 5000 mm/an), les SAF à base d'arabica (*Coffea arabica* L) contribuent à la conservation des sols en limitant leur érosion et favorisent la recharge des aquifères (Gomes et al., 2011). Leur strate arborée augmente la connectivité des paysages forestiers (corridor biologique méso-américain), joue un rôle tampon autour des réserves naturelles (Monts Rungwe et Kenya) et fournit un habitat pour la faune (Vaast et al. 2005). En outre, ces SAF permettent de diversifier les revenus des exploitations par la production de bois d'œuvre et de feu, contribuent à diminuer la pression sur les forêts, et séquestrent des quantités appréciables de carbone (Hergoualc'h et al, 2012).

L'intensité de l'ombrage et sa répartition sont déterminées par la composition spécifique et l'organisation du peuplement intra-parcellaire et influent sur les performances des caféiers (Soto Pinto, 2000 ; Somariba et al. 2004 ; DeClerk et al. 2006). De façon générale, les arbres réduisent le rendement du caféier par rapport à la monoculture dans les conditions optimales et sous un mode de gestion intensif du fait de l'effet négatif de l'ombrage sur l'intensité de la floraison (Harmand et al. 2007 ; Siles et al, 2010). Par contre, leurs effets sont bénéfiques au regard de la monoculture en conditions écologiques sub-optimales et/ou en l'absence de fertilisation (Vaast et al, 2007). L'ombrage réduit la

variabilité interannuelle et augmente la longévité productive des caféiers (Beer et al 1998) tout en améliorant la qualité du grain par rapport à la monoculture (Vaast et al. 2005).

L'ombrage a aussi des effets contrastés sur les bioagresseurs. Les arbres constituent une barrière à la pluie permettant de réduire l'incidence d'une maladie telle que l'antracnose des cerises de café qui se disperse par la pluie (Mouen, 2010). D'un autre côté, les conditions microclimatiques créés par l'ombrage semblent favorables au développement de plusieurs bioagresseurs comme la tache américaine (*M. citricolo*) (Avelino et al., 2007) ou le scolyte des baies (*H. hampei*) (Bosselmann et al., 2009).

De nombreuses études ont montré les effets positifs des arbres en termes d'augmentation de la matière organique des sols, leur richesse azotée via la fixation symbiotique de ces arbres et l'amélioration du recyclage des nutriments (Beer 1987; Barradas and Fanjul 1986). Cependant, les connaissances restent à approfondir sur les effets des arbres sur la biologie des sols et leur contribution à la biodisponibilité des nutriments. La consommation en eau des SAF est plus élevée que celle de la monoculture en raison du surplus d'évapotranspiration des arbres associés, ce qui peut entraîner une compétition hydrique avec les caféiers ombragés surtout en cas de saisons sèches prolongées (Cannavo et al 2011).

Ce projet permettra d'approfondir la compréhension du rôle des arbres et des facteurs pédoclimatiques sur la production et les services écosystémiques fournis par ces systèmes, et proposera des recommandations en matière d'optimisation de la structure arborée et des pratiques agricoles afin de favoriser les compromis permettant la gestion durable de ces SAF.

Les systèmes agroforestiers cacaoyers en zone humide :

Ces systèmes, où le cacaoyer est associé à de nombreuses espèces pérennes, forestières et fruitières, aux usages multiples, se rencontrent au Brésil (Ruf et Schroth, 1995) où ils sont d'ailleurs connus sous le terme de *cabruças*, mais également en Indonésie (Juhrbandt et al., 2010), au Nigéria (Oke et Odebiyi, 2007), au Ghana (Asare et Tetteh, 2010) et au Cameroun (Laird et al., 2007, Sonwa et al., 2007).

Le fonctionnement des systèmes agroforestiers cacaoyers demeure cependant mal connu car ils sont généralement restés ignorés des agronomes, voire décriés, en raison principalement de la faiblesse de leurs rendements en cacao marchand. Il est vrai également que ces systèmes généralement complexes demeurent difficiles à évaluer en raison des problèmes méthodologiques que pose l'évaluation des espèces qui les composent dont les usages, la nature des produits récoltés ou des services rendus, et les cycles de développement sont différents (Nair, 1993). Dans certains cas, certaines espèces ont plusieurs usages, dont certains, d'ordre écologique notamment, sont difficilement quantifiables et posent la question de l'unité commune à retenir (Huxley, 1999).

Par conséquent, la plupart des analyses récentes sur les systèmes agroforestiers cacaoyers portent majoritairement sur leur impact environnemental en termes de conservation de la biodiversité, de maintien de la fertilité des sols et de séquestration du carbone (Schroth et Harvey, 2007 ; Dawoe et al., 2010 ; Gockowski et Sonwa, 2010). Dans le cas des systèmes agroforestiers cacaoyers du Centre du Cameroun, il s'agit le plus souvent de travaux descriptifs portant sur le degré d'agrobiodiversité de ces systèmes à travers des inventaires des espèces associées aux cacaoyers et de leurs usages (Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007). Les usages des espèces les plus fréquemment rencontrées ont ainsi été renseignés et nombreuses sont les espèces qui, tout en fournissant un ombrage aux cacaoyers, procurent aux agriculteurs une multitude de produits (fruits, bois, feuilles, écorces, etc.), commercialisés ou non, qui interviennent dans l'autosuffisance et l'équilibre alimentaire des ménages, la pharmacopée, la construction des habitations et la trésorerie des exploitations agricoles.

D'autres travaux portent sur la fertilité des sols (Snoeck et al., 2010) ou sur le lien entre la structure de ces systèmes et leur niveau d'intensification (Bisseleua et Vidal, 2008).

Malgré tout leur intérêt, ces analyses ne permettent pas une évaluation globale de ces systèmes et apportent peu d'éléments sur leur gestion notamment en ce qui concerne les tradeoffs réalisés par les agriculteurs. De plus, il existe très peu de travaux de recherche portant sur le fonctionnement des peuplements cacaoyers conduits spécifiquement dans des systèmes agroforestiers complexes et toutes les références techniques visent à optimiser la productivité des cacaoyers dans des systèmes peu diversifiés et des monocultures (Wood et Lass, 1985). En identifiant les facteurs du rendement en cacao et les fonctions multiples des systèmes agroforestiers complexes, on pourra proposer aux agriculteurs des améliorations sans remettre en cause les compromis qu'ils réalisent en termes de services écosystémiques.

Les systèmes agroforestiers à base de céréales en zone sèche :

L'agroforesterie en zone sèche sub-saharienne fait partie, depuis plusieurs siècles, des stratégies adaptatives les plus anciennes des sociétés rurales. Par sa composition, sa structure spatiale, en liaison avec le rôle qui lui est assigné, l'arbre est un révélateur de la stratégie que chaque société conduit à l'égard du milieu où elle est insérée (Pélissier, 1980). Les espèces sélectionnées ont une valeur utilitaire pour le ménage ou une valeur commerciale sur le marché local, régional ou, plus rarement, international (Ouedraogo & Devineau 1996). Des tentatives récentes de densification du couvert ligneux pour promouvoir l'agroforesterie ont été déçues parce que la compétition souterraine pour l'eau entre la culture et les arbres annulait fréquemment les bénéfices de l'enrichissement du sol et de l'amélioration du microclimat (Ong & Leakey 1999). Cependant, la régénération naturelle assistée des arbres et arbustes est une pratique très répandue des agriculteurs de cette zone et cela se caractérise localement par une extension et une densification des arbres dans les terroirs cultivés (Garrity et al, 2010). Une amélioration semble donc possible si elle se base sur l'expérience des acteurs. Par exemple, au sud du Sahel, les parcs à *Faidherbia albida* sont l'exemple le plus abouti de la construction intégrée agro-sylvo-pastorale du paysage et ont un rôle essentiel dans la gestion de la fertilité des sols (Peltier 1996, Dugué 1999, Milleville 2007). Au sahel, les arbustes, tels que *Guiera senegalensis*, *Piliostigma thonningii* ou *P. reticulatum*, dominent encore plus largement, souvent en peuplements monospécifiques peu denses, dans les champs de mil ou au sein de paysages très ouverts (Lahmar et al. 2011). Leur rôle socio-économique et agroforestier est important (Louppe, 1991 ; Wezel et al. 2000 ; Bellefontaine, 1997). La plupart des études écologiques, hydrologiques (Gaze et al., 1998; Kizito et al., 2006, 2007) et de leur impact sur la fertilité des sols (Dossa et al., 2010; Wezel et al., 2000) ont été menées sur les sols sableux. Plus au sud, les arbres, comme le karité (*Vitellaria paradoxa*), sont typiques de la région soudanienne sur toute la bande allant du Sénégal jusqu'au bord du Soudan et de l'Ethiopie (Teklehaimanot 2004). Ils fournissent des fruits comestibles, de l'huile de cuisine et entrent dans la consommation locale mais constituent aussi, de plus en plus, une ressource d'exportation vers l'industrie du Nord comme le fameux beurre de karité (Pelissier 1980 ; Glèglè Kakaï et al. 2011). Les recherches sur ces parcs sont actuellement concentrées essentiellement sur le Burkina Faso et le Mali (Kater et al. 1992 ; Kessler 1992; Boffa et al. 2000; Bayala et al. 2002; Gbemavo et al. 2010).

Enfin, les arbres de la zone subsaharienne ont aussi une fonction importante dans l'appropriation foncière. Malheureusement, peu d'études concernent, à ce jour, les acteurs et leur niveau de décision pour la gestion des parcs (Assé & Lassoie 2011). Les dynamiques de transformations des sociétés rurales des zones tropicales sèches sont puissantes : elles sont à la fois mues par des contraintes climatiques fortes dans un contexte de croissance démographique élevée (Guengant et al. 2002), une modification des échanges rural-urbain (Pelissier 2001, Bonnassieux 2007) et des mutations de politiques économiques et

environnementales (Dia et al. 2008). Bien des questions restent en suspens, souvent générées par des études locales.

3. Objectif

L'enjeu d'une gestion judicieuse des SAF est d'améliorer les compromis et même, si possible, de favoriser les synergies entre production et autres services écosystémiques. Le projet se propose donc d'étudier, dans des situations contrastées, les compromis et les synergies entre les services d'approvisionnement et les autres types de services écosystémiques (support, régulation) et culturels procurés par les SAF, afin de documenter une base générique d'optimisation de ces compromis. Le projet est particulièrement ambitieux, car son objectif implique en effet:

- de passer d'*analyses partielles* des services écosystémiques à une *analyse intégrée* des compromis entre la production et les autres services écosystémiques fournis par les SAF;
- de *développer* pour cela une *dynamique scientifique interdisciplinaire* combinant dans une même approche systémique des visions, des concepts et des méthodes en apparence très fédérateurs (services écosystémiques, « trade-off », intensification écologique, modélisation...) mais dans les faits très spécifiques à chaque discipline (écologie, économie, agronomie ...) et à la posture de recherche des unités et des individus (analyse cognitive vs. ingénierie agro-écologique) ;
- de *fédérer* dans *cette* démarche des institutions et équipes travaillant sur des SAF très divers par leurs contextes écologiques et socio-économiques et notamment entre les zones tropicales humides (ZTH) et les zones tropicales sèches (ZTS).
- de produire à la fois (a) des résultats scientifiques *appropriables par les acteurs* de chaque territoire *servant* de support pour la recherche de compromis dans leurs systèmes spécifiques, et (b) un cadre méthodologique *mobilisable pour des recherches* dans d'autres territoires et pour la *formation*.

4. Démarche

Pour appréhender la multi-fonctionnalité des SAF et les compromis entre productions et services écosystémiques permettant une gestion durable et acceptable par les acteurs, on utilisera une démarche intégrée, susceptible de déboucher sur des innovations dans le domaine de la conduite de ces systèmes et des politiques publiques. L'analyse reposera sur une compréhension et une caractérisation des services écosystémiques et des bénéfices socio-économiques et environnementaux que les SAF procurent par rapport aux monocultures. En général, les services écosystémiques ne sont pas indépendants entre eux et leurs relations sont probablement non linéaires (Power, 2010). La fourniture d'un service peut réduire celle d'un autre, on parle alors de compromis (« trade-offs »). Maximiser les services d'approvisionnement peut conduire à des compromis très importants avec les services de support et de régulation comme c'est le cas dans les monocultures. La conservation de la biodiversité et les services culturels sont aussi souvent perçus comme des compromis avec la production, elle-même variée et peu prise en compte dans sa diversité et sa temporalité. Dans le projet, on part cependant de l'hypothèse que le maintien des services de support et de régulation devrait favoriser la résilience des systèmes au changement climatique.

L'analyse comparative portera sur un large gradient de structures de SAF (de la monoculture jusqu'à l'agro-forêt complexe) et de contextes biophysiques, écologiques et socio-économiques (entre ZTH et ZTS et au sein de chacune de ces zones). Le projet sera cependant centré sur deux cultures pérennes en zone tropicale humide (ZTH), le café et le

cacao, et sur la rotation à base de céréales en zone tropicale sèche (ZTS). Les aspects socio-économiques et la stratégie des acteurs qui déterminent la structure, la diversité, les propriétés dynamiques et l'évolution des SAF seront également pris en compte dans une approche permettant de faire explicitement le lien avec l'identification des leviers d'actions de différente nature (technique, formation, politiques publiques, insertion au marché...) aux différentes échelles (parcelle, exploitation, territoire).

Les relations entre services écosystémiques seront évaluées au cours du cycle de vie des SAF. Les différentes échelles spatiales seront articulées en intégrant les critères d'évaluation spécifiques à chaque échelle et aux acteurs impliqués. Des leviers d'action susceptibles d'améliorer les compromis productions-services seront identifiés et formulés de manière à ce qu'ils puissent être évalués dans ce projet ci ou dans son prolongement au sein d'autres programmes. Ces leviers pourront être de nature technique (exemple, choix et mode de combinaison des espèces), économique (exemple paiement d'un service, d'une production ex : bois d'œuvre) ou de politique publique (exemple mode de propriété du bois).

Le projet s'appuiera sur les dispositifs de recherche en partenariat déjà existants du CIRAD, de l'IRD et des principaux partenaires impliqués. Pour les cultures pérennes, le projet déclinera ses activités sur trois régions : Afrique Centrale (Cameroun), Afrique de l'Est (Kenya, Tanzanie), et Amérique Centrale (Costa-Rica, Nicaragua). Pour les cultures de céréales, le projet se focalisera sur les zones sèches d'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Bénin et Niger). Au sein des dispositifs en partenariat, plusieurs institutions participeront au projet, au Cameroun (IRAD, Université Yaoundé 1, Université de Dschang, Fédérations de producteurs), en Amérique centrale (CATIE, Université du Costa Rica), en Afrique de l'Est (ICRAF, Coffee Research Foundation, Université Jomo Kenyatta), en Afrique de l'Ouest (Univ Cheik Anta Diop Dakar, ISRA, Univ Abdou Moumouni Niamey, Univ Abome Calavi Cotonou, DGEAU Benin, INRAB).

Cette stratégie procure plusieurs avantages. Elle permet de :

- s'appuyer sur des dispositifs déjà en place (essais de longue durée, réseaux de parcelles paysannes, bassins versants instrumentés) et des données déjà acquises sur les états des systèmes et sur les variables individuelles des relations à étudier,
- limiter la dispersion de l'investissement de façon à pouvoir structurer et animer des dispositifs de recherche participative avec les acteurs de ces territoires,
- favoriser l'approche intégrée et la pluridisciplinarité au sein des différentes équipes du projet.

Ce projet intégrera les concepts et démarches produits par quatre WP, dans un cadre unique et partagé par les différentes disciplines, équipes et terrains :

- *WP0 : Animation et coordination du projet autour d'un cadre conceptuel partagé*
Il regroupe les porteurs du projet et les animateurs des WP et des tâches majeures ainsi que des représentants de chaque pays quand ceux-ci ne sont pas parmi les responsables de tâches.
- *WP1 : Caractérisation de la composition, de la structure, et de la dynamique du système*
Il comprend deux tâches, la première visant à la caractérisation de la composition et de la structure des SAF (structure verticale, horizontale et diversité), la deuxième visant à identifier les déterminants socio-économiques de leurs dynamiques.
- *WP2 : Services d'approvisionnement et autres services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers, interactions et compromis*
Il comprend deux tâches. La première sera de quantifier l'impact des SAF sur les services écosystémiques à partir de l'étude des processus biophysiques et à l'aide d'indicateurs et modèles utilisables en conditions expérimentales et en parcelles paysannes. La deuxième caractérisera via une approche méta-analytique les relations entre structures et services ;

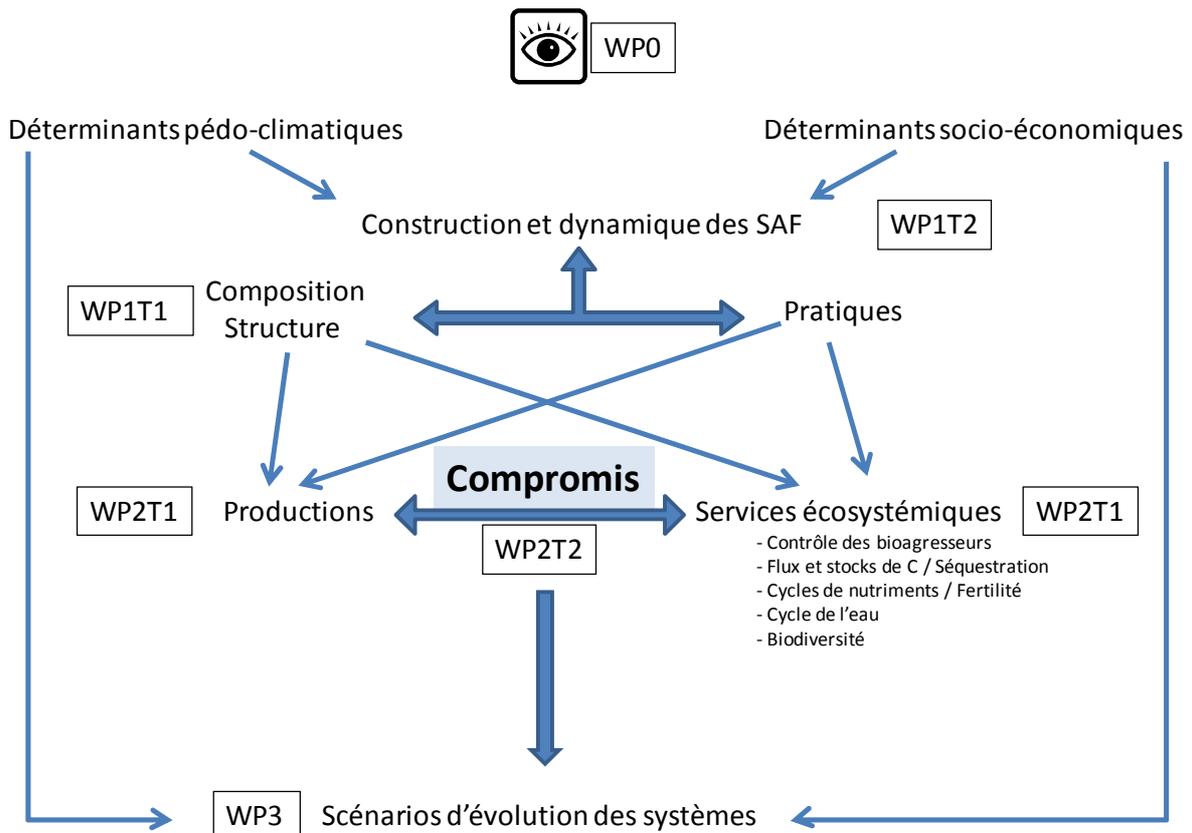
elle cherchera à identifier les facteurs clés (biophysiques et socio-économiques) déterminant l'établissement des compromis entre les services d'approvisionnement et les autres services écosystémiques dans un gradient de SAF.

- *WP3 : Analyse des possibilités d'amélioration des SAF à travers des innovations techniques et institutionnelles*

Ce WP également organisé en deux tâches, effectuera une analyse de l'espace des compromis entre les différents services afin d'identifier, par des approches participatives, des leviers d'action techniques et socio-économiques pouvant déplacer ces compromis vers une zone plus désirable pour les acteurs. Cette démarche sera appliquée aux échelles de la parcelle et de l'exploitation agricole dans la tâche 1, et à celle du territoire et du réseau d'exploitants dans la tâche 2.

En s'appuyant sur trois grands types de SAF, distribués au sein de sites contrastés (présentés en annexe), le projet SAFSÉ, porté par le CIRAD et l'IRD, mettra en commun des compétences pluridisciplinaires et des moyens financiers et humains qui se renforcent mutuellement autour d'une approche intégrée, pluridisciplinaire, avec et pour le Sud. Celle-ci est conçue de façon à répondre à un certain nombre des questions posées par la recherche de compromis entre production et autres services écosystémiques, tout en dégagant des orientations innovantes qui dépassent l'étude de cas, dans le domaine de la conception et de la conduite de ces systèmes comme dans celui des politiques publiques.

5. Schéma d'organisation du projet



6. Description des Work Packages

WP0 : Animation et coordination du projet autour d'un cadre conceptuel partagé

Responsables : Jean-Michel Harmand (Cirad), Josiane Seghieri (Ird), Jacques Wery (Montpellier SupAgro), Lucien Bidzanga Nomo (IRAD Cameroun)

Participants : Tous les responsables de taches + responsables par pays

Objectif global

Le WP0 représente la cellule de coordination et d'animation du projet. Il est en charge de la coordination des activités des autres WP, et de la cohérence globale. Il favorise la valorisation commune et transversale des résultats. Il s'assure que les activités soient menées dans un contexte de culture partagée entre les différentes disciplines, sites et équipes de recherche impliqués dans le projet.

A travers ce WP0, le projet sera animé par une cellule de coordination et d'animation, qui organisera chaque année une assemblée des participants au projet et une réunion de cadrage avec un comité de pilotage, composé de 1 membre de la DG-DRS du Cirad, 1 membre de la DG-DS de l'IRD et un représentant de l'AIRD.

Objectifs spécifiques

- Veiller à maintenir un cadre systémique, interdisciplinaire et multi-échelles, dans **la conduite des activités** sur la composition et la structure des SAF, les services écosystémiques et l'analyse des compromis entre services. Il s'agira d'assurer ainsi une gestion de projet fondée sur un cadre conceptuel partagé. Une première version de ce cadre sera élaborée par un petit groupe composé des animateurs des taches des autres WP afin de servir de base à un séminaire de lancement du projet qui traitera des objectifs, des concepts et des méthodes associées.
- Mettre en œuvre le cadre commun de démarrage peu après la notification du projet, au cours du dernier trimestre 2012 à Montpellier. Au cours de ce séminaire financé par le projet, il s'agira de veiller à ce que les questions traitées dans les différents terrains, taches et opérations s'inscrivent au sein d'une typologie systèmes-services. Pour chacune des cultures pivot des SAF retenues pour cette ATP (café et cacao en ZTH et rotation à base de céréales en ZTS) et pour chacun des sites expérimentaux et des territoires identifiés, on positionnera les questions scientifiques, les processus et les services étudiés par chaque tache dans le cadre précédent d'analyse. Pour chaque cas, on explicitera notamment l'échelle spatiale et temporelle d'analyse, la méthode utilisée pour la caractérisation de la structure de l'agro-écosystème, les services étudiés et les indicateurs pour les caractériser, les leviers d'action étudiés et les hypothèses sous-jacentes à l'analyse des compromis. Ceci permettra d'identifier dès le départ, et d'analyser à posteriori, la façon dont chaque tache et terrain du projet contribue à l'évaluation/amélioration du cadre d'analyse.
- Coordonner les activités des différents WP sur les différents sites (inter SAF-Zone Tropicale Humide et/avec SAF-Zone Tropicale Sèche) en assurant une bonne communication entre les équipes et entre les sites, en portant toute l'attention nécessaire à la cohérence et à l'articulation entre les WP. En particulier, le WP0 visera à (i) identifier en début de projet et à la fin de chaque année les acquis des autres WP qui peuvent enrichir ce cadre ; (ii) les éléments manquants pour aller de l'analyse de la structure, des services et de leurs inter relations (WP1 et WP2) à l'analyse des compromis dans des scénarios partageables avec les acteurs des territoires concernés (WP3) ; (iii) à proposer des mesures correctives dans les actions et le budget pour faciliter ce continuum. Il s'agira ainsi d'impulser une dynamique interdisciplinaire et inter-équipes qui soit durable autour

de la caractérisation des relations structure–services et de l’analyse par scénario de l’espace des compromis entre production et autres services dans les SAF.

- Assurer la diffusion des résultats au sein de la communauté scientifique internationale, mais également leur portabilité sous une forme utile à la formation et à leur appropriation pour d’autres études. Ceci inclut notamment des publications scientifiques collectives (numéros spéciaux, organisation de sessions scientifiques dédiées dans des congrès) sur les concepts et méthodes développés dans le cadre du projet. Mais le réseau de sites expérimentaux et de territoires agroforestiers qui verra le jour peut également servir de support à des études à plus long terme et à des analyses comparatives au-delà du projet lui-même. L’approche innovante qui y sera développée et éprouvée sur quelques sites pourrait, en effet, être mobilisable sur d’autres projets qui prolongent ou qui complètent celui-ci. Ainsi, le WPO procédera en fin de projet à une révision, lors d’un séminaire collectif, du cadre d’analyse proposé en début de projet, en une version qui structurera la communication des résultats du projet et servira de support à des publications méthodologiques sur l’analyse des compromis entre services dans les SAF. Ce cadre servira aussi de support de formation dans le cadre d’autres projets susceptibles de mettre en œuvre, éprouver et améliorer les démarches et outils produits par le projet CIRAD-IRD dans d’autres territoires et sur d’autres types de SAF.

Résultats attendus

- Une dynamique interdisciplinaire et inter-équipes Cirad/IRD et partenaires du Sud durable autour de la caractérisation des relations structure –services et de l’analyse par scénarios de l’espace des compromis entre production et autres services dans les SAF.
- Un réseau de sites expérimentaux et de territoires agroforestiers pouvant servir de support à des études de plus long terme et à des analyses comparatives.
- Une gestion de projet fondée sur un cadre conceptuel partagé.
- Une approche innovante pour l’étude des compromis entre services dans les SAF, éprouvée sur quelques sites et mobilisable pour d’autres projets.
- Outre les rapports scientifiques et d’exécution annuels, un rapport final sera produit au terme du projet.
- Des réponses de qualité aux appels d’offres font partie des attendus du projet.

WP1 : Caractérisation de la composition, de la structure, et de la dynamique du système

Animation : Camille Lelong (CIRAD - UMR TETIS), Patrice Levang (IRD - UMR GRED), Isabel Gutiérrez (CATIE – Costa Rica, à confirmer)

On étudiera dans ce WP la diversité de la structure des SAF (structure verticale et horizontale) ainsi que les déterminants biophysiques et socio-économiques de leur dynamique.

WP1T1 (Tâche 1) : Composition et structure des systèmes agroforestiers

Animation : C. Lelong (CIRAD - UMR TETIS)

Problématique

Les systèmes agroforestiers se distinguent des autres modes de culture par leur grande hétérogénéité : la diversité des espèces végétales en présence et la complexité de leurs associations. Les études sur les systèmes agroforestiers font rarement état de cette hétérogénéité. Il n’existe pas un modèle standard ou représentatif mais une multiplicité de modèles des systèmes agroforestiers. La prise en compte de cette hétérogénéité permettra de rapporter les produits et services fournis par les systèmes agroforestiers à un type donné dans

une grille référencée. Cette grille, ou typologie, illustrant le gradient de complexité des systèmes agroforestiers, prendra en compte à la fois :

- la *composition* du système, en déclinant les espèces selon leur fonctionnalité (production de rente, production vivrière ou fruitière, ressources médicinales, fourragères, en bois d'œuvre, de chauffe, autres fonctions liées à la qualité de l'ombrage, au cycle des nutriments, au stockage de carbone, au contrôle des bio-agresseurs, etc...) ;
- la structure du système, prenant en compte à la fois la densité de végétation, l'agencement vertical des différentes strates et la répartition horizontale des individus (entités arbres, patches d'annuelles, etc...) dans le peuplement agroforestier ;
- les *interactions* physiques entre les espèces associées, en particulier le partage de la lumière qui varie selon la phénologie des espèces en présence, leur agencement et leur recouvrement respectif ;
- *l'environnement* biophysique des parcelles agroforestières, leur représentativité dans le paysage, leur connectivité avec d'autres modes d'usage des sols, leur position par rapport aux implantations des populations.

Caractériser un système agroforestier, et le replacer dans une typologie en rapport avec un degré de complexité à partir des quatre critères présentés ci-dessus, permettra de relier son impact, en termes de productions et de services, à cette complexité. Cette tâche se propose de fournir des éléments d'analyse et de caractérisation nécessaires.

Objectifs

Le premier objectif de cette tâche est de déterminer les indicateurs de composition (inventaire des individus et des espèces, indices de diversité végétale) et de structure (densité, arrangement, stratification, biomasse, LAI, couverture, hétérogénéité spatiale...) permettant d'embrasser toute la gamme de complexité et d'hétérogénéité des systèmes agroforestiers, en partant d'un certain nombre de cas de figure contrastés. Nous proposons pour cela de combiner les approches classiques d'observations et de mesures sur le terrain aux capacités de l'analyse par télédétection et par modélisation du transfert radiatif dans le couvert.

Le deuxième objectif est de définir une typologie des systèmes agroforestiers permettant de les situer sur cette gamme de complexité et de comparer leur évaluation agronomique et environnementale. Cette classification reposera, d'une part sur les indicateurs identifiés comme pertinents dans la première partie de cette étude et qui serviront en partie aux analyses du WP2, d'autre part sur les résultats fournis par le WP2 concernant la mesure de ces indicateurs ainsi que sur les propriétés dynamiques relevées à l'issue de la tâche 2 de ce WP1.

Questions spécifiques à traiter

- Quels sont les indicateurs de structure et de composition pertinents pour caractériser la complexité/l'hétérogénéité des systèmes agroforestiers en vue d'une estimation des services écosystémiques rendus ? Lesquels peut-on estimer respectivement sur le terrain, par télédétection, et par modélisation ?
- Ces indicateurs sont-ils tous accessibles avec la même facilité et la même précision pour l'ensemble de la diversité des systèmes agroforestiers ?
- Comment intégrer des savoirs de différentes natures (botaniques, agronomiques, géographiques, économiques...), de différentes sources (paysan, communauté, chercheur...), et synthétiser les connaissances pluri(/multi)disciplinaires pour le diagnostic agronomique et environnemental des parcelles agroforestières ?
- Peut-on établir une typologie des parcelles agroforestières sur la base de leur complexité de structure et de composition ?

Les produits issus de cette tâche permettront ainsi de poser un cadre d'analyse permettant de répondre dans les WP2 et 3 à la question plus large : peut-on proposer une grille d'évaluation agronomique et environnementale des systèmes agroforestiers selon leur place dans cette typologie de complexité?

Méthodologie, opérations

On travaillera essentiellement à l'échelle de la parcelle pour caractériser le système de culture (composition, structure, climat radiatif, phénologie...). Puis on s'intéressera à l'échelle locale et régionale afin de replacer la parcelle dans sa séquence topographique et dans la mosaïque paysagère permettant ainsi d'établir des relations entre l'échelle parcelle et l'échelle plus large. Ces deux niveaux d'échelle seront appréhendés à la fois par la collecte d'informations et de mesures sur le terrain et grâce à l'imagerie satellite à très haute résolution spatiale (<1m, abrégé en THRS par la suite) et à haute résolution spatiale diachronique (SPOT5) comme support de cartographie et comme source d'informations. On testera aussi les capacités de modélisation permettant de caractériser le climat radiatif de ces systèmes de culture et en particulier l'approche LIDAR terrestre. D'importantes analyses de données de diverses natures (statistiques, géomatiques, hypsométriques, phénologiques, physiques, etc...) seront mises en œuvre afin d'extraire les différents indicateurs recherchés.

Au total, 4 opérations (décrites en annexe) sont proposées qui recouvrent la diversité des SAF du projet. Les opérations 1 à 3 seront menées de front, parfois en parallèle mais le plus souvent en synergie et collaboration étroites. Elles ont pour but (i) d'établir quels sont les indicateurs de composition et de structure des systèmes agroforestiers à partir des mesures de terrain, de la télédétection et de la modélisation du transfert radiatif et (ii) de comparer ces approches.

WP1T1 Opération 1 : Evaluation du potentiel de la télédétection spatiale pour la caractérisation des systèmes de culture agroforestiers (composition, structure, phénologie, hypsométrie, place dans la matrice paysagère) sur les systèmes suivants, dont quatre en zone humide et un en zone sèche :

- une agroforêt à base de cacaoyers dans la région de Bokito au Cameroun, représentant des systèmes complexes et divers.
- un système caféier dans la région de Turrialba au Costa Rica, représentant des systèmes agroforestiers simples (culture pérenne sous ombrage de légumineuse à densité variable).
- une zone caféière dans la région de Muranga dans les Aberdares au Kenya, représentant des systèmes plus ou moins simples (culture pérenne sous ombrage et fruitiers).
- Le site 3) sera comparé avec un site voisin situé en Tanzanie, sur les pentes du mont Rungwe, illustrant une toposéquence faisant se succéder des systèmes à café associant céréales et bananier et des systèmes à cacao ou thé.
- en zone sèche, un système agroforestier dans la région de Thiès au Sénégal (Keur Maktar) composé de cultures en rotation à base de céréales (mil et sorgho) et de légumineuses (arachide et niébé) dans des parcs arborés à *Faidherbia albida* et arbustifs à *Guiera senegalensis*.

WP1T1 Opération 2 : Caractérisation in situ des systèmes, mesure et modélisation de l'interception du rayonnement en zone humide, sur des plantations de caféiers sous Erythrine à Turrialba (Costa Rica)

WP1T1 Opération 3 : Analyse de la structure spatiale des systèmes agroforestiers en zone humide, dans les plantations de cacaoyer de Ngomedzap au Cameroun et dans les caféières des Aberdares au Kenya.

La quatrième, et dernière, opération consistera en une synthèse impliquant tous les acteurs de cette tâche mais aussi de la tâche 2 du WP1 :

WP1T1 Opération 4 : Construction, à partir des trois opérations précédentes, d'une matrice multidimensionnelle d'indicateurs permettant d'évaluer la complexité des systèmes agroforestiers.

Résultats attendus

- Une cartographie intra et inter parcellaire des systèmes agroforestiers dans les régions d'étude.
- Une caractérisation précise, spatialement explicite, de la gamme de systèmes étudiés : composition, structure, environnement radiatif.
- Des informations sur l'influence de divers facteurs (géographiques, pédoclimatiques, topographiques, date de mise en place, pratiques locales...) sur la structure et la complexité des systèmes.
- Des informations sur l'influence de la structure et de la complexité des systèmes sur les services (biodiversité végétale, compétition pour la lumière, habitats pour les bioagresseurs, productions).
- Une grille multidimensionnelle d'indicateurs permettant de caractériser la complexité des systèmes agroforestiers.

WP1T2 (Tâche 2) : Dynamique des systèmes agroforestiers, pratiques et stratégies des acteurs

Animation I. Michel (CIRAD - UMR Innovation), P Levang (IRD - UMR GRED)

Problématique

Les systèmes agroforestiers (SAF), issus de la mise en valeur des espaces forestiers originels ou des zones de savanes, recouvrent localement de grandes superficies, une diversité de structure et de composition, et **connaissent d'importantes mutations**. Ces dernières sont inhérentes à l'évolution des conditions naturelles (changements globaux,...), sociales (augmentation de la pression démographique, aggravation des conflits pour l'accès aux ressources naturelles, migrations...), économiques (variations des prix des différentes denrées agricoles, arrivées de nouveaux investisseurs d'origine urbaine ou étrangère, création de nouveaux marchés...) et sociopolitiques (nouvelles règles de gestion des ressources foncières édictées par les pouvoirs locaux ou nationaux, création d'aires protégées...). Ces nouvelles contraintes et opportunités ont ainsi conduit à une modification des pratiques, des techniques et des modes de gestion des SAF, dont les formes diffèrent sur les plans écologique, économique et social. Leur caractère adaptatif et leur durabilité ne sont pas encore démontrés à ce jour. L'étude des facteurs (écologiques, historiques et économiques, actuels et passés) qui ont conduit à la création des SAF et les facteurs déterminants de leur mise en place, de leur maintien, de leur transformation, et de leur éventuelle disparition, apparaissent comme des éléments essentiels pour l'accompagnement des changements à l'œuvre, pour l'amélioration des services écosystémiques qu'ils assurent, et enfin pour la construction de propositions de développement de ces systèmes.

La tâche 2 du WP1 s'attachera donc spécifiquement à l'analyse des changements qui ont un effet notable sur différents types de systèmes agroforestiers, aussi bien en termes de surfaces et d'emprise territoriale, qu'en termes de composition et de structure. Les stratégies des acteurs qui créent et gèrent ces systèmes et qui expliquent ces évolutions seront analysées à différentes échelles de temps et d'espace, et ce dans différents contextes. Nous émettons l'hypothèse que de nouvelles catégories d'acteurs entrent en jeu, et

que celles qui se maintiennent voient parfois leurs stratégies évoluer. Les déterminants (écologiques, sociaux et économiques) de ces changements d'acteurs et de stratégies seront mis en perspective, l'enjeu étant d'identifier des leviers d'action en vue d'améliorer les performances de ces SAF et de cibler leur vulnérabilité (Cf. WP3).

Questions spécifiques

- Quels sont les groupes d'acteurs, dont les stratégies évoluent et ont donc un effet sur les dynamiques spatiales et structurelles des SAF ?
- Quels sont les déterminants de ces stratégies d'acteurs et de leurs évolutions ?
- Quels sont les effets de ces stratégies sur les dynamiques spatiales de récession, de maintien ou d'expansion des différents types de systèmes agroforestiers ?
- Quelles sont les effets de ces stratégies sur la composition et la structure des agroforêts et donc sur les services écosystémiques fournis par ces SAF ?

Méthodologie, sites d'études et agencement des opérations

La méthodologie de la tâche 2 du WP1 reposera sur une analyse comparée et interdisciplinaire (agronomie, sociologie, économie, écologie, ethnoécologie, géographie) de situations contrastées. Une démarche et un cadre d'analyse communs seront mobilisés dans deux grands types de systèmes agroforestiers répartis dans quatre pays et sur sept sites.

Sites et systèmes agroforestiers retenus

En zone sèche, nous étudierons les **parcs à karité au nord du Bénin**. Leur aire d'extension est particulièrement marquée en Afrique soudanienne. Bien que jouant un rôle primordial dans l'alimentation et l'économie des familles, et bien valorisés dans le cadre de filières équitables, ces parcs présentent des signes préoccupants de vieillissement et de dégénérescence. Deux sites sont retenus, pour leurs doubles contrastes, d'une part entre les modalités d'accès au foncier et aux karités, d'autre part entre les acteurs : (1) une zone de parcs anciens en pays Bétamaribé au nord-ouest du Bénin ; (2) une zone de front pionnier et d'immigration des Bétamaribé dans la région de Djougou, où par ailleurs des opérations du WP2 sont prévues (fertilité, cycle de l'eau).

En zone humide, nous retenons les systèmes agroforestiers **à base de cacaoyers au Centre Sud du Cameroun et à base de caféiers en Amérique Centrale (Costa Rica et Nicaragua)**, systèmes et pays où convergent l'ensemble des WP et tâches du projet. C'est **au Centre Sud du Cameroun** que se trouvent les systèmes les plus anciens, les plus complexes mais aussi les plus diversifiés, voire les plus menacés. En effet, dans un contexte de désengagement de l'Etat du secteur agricole, on constate une diversification croissante des types de planteurs et de leurs stratégies en lien avec les fonctions (économiques, patrimoniales, identitaires...) qu'ils confèrent à leurs parcelles agroforestières. Le bassin concerné offre un gradient de situations pédoclimatique, écologique, socio-économique contrastées dont l'effet sur les acteurs et leurs pratiques sera testé sur trois sites: Ngomezap, Obala et Bokito. Au **Costa Rica**, nous retenons le site de Llano Bonito, où se trouvent des systèmes anciens à dominante caféière, intensifs en travail et en intrants. Si les agriculteurs bénéficient de la reconnaissance de la qualité du café produit, ils subissent des pressions des environnementalistes, dont nous voulons analyser les effets sur leurs stratégies et leurs pratiques. Au **Nicaragua**, nous retenons le site d'El Cua qui fait partie du corridor mésoaméricain de la biodiversité, ce qui génère également des pressions environnementalistes sur des agriculteurs en situation de plus grande pauvreté.

Cadre d'analyse et méthode

Notre approche méthodologique se résume en quatre points :

- Le croisement sur les mêmes sites d'approches issues de plusieurs disciplines ;
- L'articulation entre plusieurs échelles spatio-temporelles en lien avec la tâche 1 : des territoires aux ménages aux individus, du village à la parcelle aux arbres productifs, niveaux pour lesquels seront analysées les pratiques et leur organisation sociale ;
- Une approche historique de l'analyse des changements conduite sur des pas de temps longs afin de comprendre les évolutions passées et en cours, et les adaptations des exploitants agroforestiers. Des enseignements seront tirés en termes de prospective, en lien avec le WP3 ;
- Une entrée commune, centrée sur les acteurs qui créent et gèrent les SAF, leur diversité, leurs stratégies, leurs activités et leurs pratiques, ainsi que leurs perceptions sur leurs activités et sur les changements.

Le cadre d'analyse commun est issu du modèle « Sustainable Rural livelihood », dans lequel le groupe social constitue l'unité d'analyse et le point d'entrée privilégié (Scoones 1998 et 2009)¹. Notre **démarche de recherche** articulera différentes étapes, croisant entretiens et observations : (1) une première série d'entretiens auprès de personnes ressources afin de réaliser un zonage et une pré-typologie des acteurs concernés par le développement et la gestion des systèmes agroforestiers ; (2) une seconde série d'entretiens approfondis auprès des acteurs clé choisis de façon raisonnée, sur leurs stratégies, leurs perceptions et leurs pratiques ; (3) la construction d'un réseau de parcelles où seront caractérisés les effets des stratégies des acteurs sur la composition et la structure des agroforêts, en lien avec la tâche 1 ; (4) l'extrapolation des résultats à un échantillon plus large, et la caractérisation des dynamiques spatiales des différents types de systèmes agroforestiers identifiés dans la typologie de la tâche 1. Autant que faire se peut, cette analyse des dynamiques spatiales s'appuiera sur de l'imagerie satellite à haute résolution spatiale diachronique (SPOT5). Nous utiliserons essentiellement des entretiens semi-directifs qui permettent à la personne interrogée de produire son propre discours sur les thématiques qui lui sont proposées par l'enquêteur. Nous pourrions également utiliser, pour l'approfondissement de certaines analyses, les entretiens directifs et les outils de l'analyse statistique des données de recension.

Structuration en opérations

Toutes les questions de la tâche 2 du WP1 et toutes les étapes de la démarche ne seront pas traitées partout avec la même intensité. Nous avons dimensionné les opérations en fonction de l'importance numérique des équipes en place et des moyens impartis mais aussi pour les articuler au mieux avec les autres tâches et WP du projet, voire avec d'autres projets comme le projet Europaid Afs4Food au Cameroun (Cf. annexes).

La tâche 2 du WP1 est structurée en 3 opérations (décrites en annexe), une pour les parcs à karité au Bénin, une pour les systèmes agroforestiers cacaoyers au Cameroun, une pour les systèmes agroforestiers caféiers en Amérique Centrale.

- *WP1T2 Opération 1* (responsable Isabelle DROY) : Les conditions sociales et économiques de gestion des parcs à karité au Bénin : maintien ou dégradation d'un système ?

¹ Scoones, I. (1998). Sustainable rural livelihoods: a framework for analysis. Brighton, IDS. 72.
 Scoones, I. (2009). "Livelihoods perspectives and rural development." Journal of Peasant Studies 36(1): 171-196.

- *WP1T2 Opération 2* (responsable Nicole SIBELET) : Effets des paiements pour services environnementaux et des certifications du café sur les stratégies des acteurs et sur les systèmes agroforestiers caféiers en Amérique Centrale.
- *WP1T2 Opération 3* (responsable Patrice LEVANG) : Effets des changements d'acteurs et de leurs stratégies sur la dynamique spatiale et la structure des systèmes agroforestiers cacaoyers au Cameroun.

Résultats attendus

- Caractérisation de la dynamique des SAF à l'échelle des territoires ;
- Identification des parcours de vie des ménages agricoles et de la trajectoire de leur exploitation agricole, avec identification des déterminants ;
- Identification des stratégies des exploitants agroforestiers et de leur famille (ménage agricole) et construction d'une typologie de ces acteurs ;
- Evaluation des performances économiques et sociales des différents types de SAF et situation de leur place dans l'économie des familles ;
- Représentation à dire d'acteurs des services d'approvisionnement et écologiques des SAF ;
- Elaboration d'une représentation cartographique des dynamiques spatiales des différents types d'agroforêts ;
- Caractérisation de la composition et de la structure des agroforêts, et identification de leur trajectoire d'évolution, en lien avec les trajectoires des familles.

WP2 : Services d'approvisionnement et autres services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers, interactions et compromis

Laurent Cournac (IRD - UMR Eco&Sols), Jacques Avelino (CIRAD - UR Bioagresseurs), Pr. K.E. Agbossou (Univ. Abomey-Calavi – Fac. De Sciences Agronomiques, Bénin)

Problématique

Pour les producteurs, un déterminant central à l'établissement et au maintien des SAF réside dans leur capacité à soutenir non seulement une rentabilité économique mais aussi une pérennité et une durabilité équivalentes ou supérieures à celle des cultures non associées. Les impacts qu'auront les SAF sur les **services d'approvisionnement** (productions vivrières) ou marchandes sont donc à considérer au premier plan. Selon les lieux et les contextes, l'impact des espèces arborées pourra être favorable à une stimulation du rendement des cultures (facilitation). Il pourra au contraire exercer un effet dépressif (compétition pour la lumière, l'eau ou certains nutriments), qui sera acceptable dans la mesure où il sera compensé par d'autres modes de valorisation ou une plus grande résilience, liés à d'autres **services écosystémiques**. Parmi ceux-ci on peut citer la production primaire, le contrôle du régime hydrique et de la qualité de l'eau, la préservation des sols, la régulation du cycle des nutriments, la régulation des bioagresseurs, la séquestration du carbone et la préservation de la biodiversité. Une meilleure compréhension des processus qui influencent ces services écosystémiques est ainsi une condition nécessaire pour prédire les capacités des SAF à les soutenir, notamment face aux perturbations, qu'elles soient climatiques ou d'autre nature.

Objectifs

Nous chercherons à identifier dans les différents sites du projet comment la structure et la composition (telles qu'identifiées au WP1T1) d'une part, et les pratiques de gestion d'autre part affectent les productivités des systèmes et impactent les autres services écosystémiques qu'ils rendent. Nous analyserons les processus biophysiques sous-jacents (Tâche 1 du WP2) afin de cerner les mécanismes clés qui déterminent les **compromis** entre services

d'approvisionnement et autres services écosystémiques. Enfin nous chercherons à déterminer comment, l'environnement socio-économique oriente le fonctionnement et l'évolution des SAF au sein de l'espace physique des compromis possibles (Tâche 2 du WP2).

Questions spécifiques à traiter

Tâche 1 :

- Comment les SAF conditionnent-ils les services d'approvisionnement (marchands et non marchands) ?
- Comment les SAF conditionnent-ils les autres services écosystémiques ?

Tâche 2 :

- Quels sont les déterminants physiques et socio-économiques qui modèlent les systèmes observés ?

Méthodologie

Concernant la tâche 1, un ensemble de méthodologies spécifiques, s'appuyant essentiellement sur des études de terrain, sera déployé pour analyser comment chacun des différents services traités dans ce projet est modulé par l'environnement arboré des cultures et les pratiques de gestion. Les services écosystémiques étudiés peuvent être regroupés ainsi : (i) approvisionnement ; (ii) cycle et stocks de C ; (iii) cycle et stocks d'eau ; (iv) cycle des nutriments, stabilité des sols et fertilité ; (v) régulation des bioagresseurs ; (vi) biodiversité fonctionnelle. Ces services seront étudiés dans des systèmes agroforestiers à base de cacao au Cameroun et Costa Rica, dans des systèmes à base de caféier au Costa Rica, au Kenya, en Tanzanie et au Cameroun et dans des systèmes à base de céréales au Sénégal, Burkina Faso, Niger et Bénin. Il est évident que pour des raisons pratiques, il n'est pas envisageable de traiter chacun de ces services sur chacun des sites. Les combinaisons services étudiés/sites ont été choisies pour essayer néanmoins de couvrir au mieux cette diversité, en tenant compte des dispositifs en place chez les partenaires, et en visant à permettre autant que possible les actions et comparaisons transversales. Les grandes lignes en sont données dans le descriptif des tâches ci-dessous et le détail dans les fiches opérations référencées (en annexe).

Pour la tâche 2, une méta-analyse des données issues de la littérature et de celles issues du projet sera mise en œuvre pour analyser les facteurs biophysiques et socio-économiques qui régissent l'établissement des compromis.

Résultats attendus

Pour la tâche 1

- Une quantification, dans les systèmes agroforestiers étudiés de l'effet des SAF sur la productivité des cultures (vivrières et marchandes), incluant des analyses de l'impact des SAF sur les composantes du rendement (production primaire, allocation et phénologie, pertes de récolte liées aux bioagresseurs, etc.).
- Une quantification de l'impact des SAF sur les six groupes de services écosystémiques considérés, dans des sites représentatifs de l'ensemble des zones pédoclimatiques couvertes par le projet.

Pour la tâche 2

- Une base de données regroupant les données d'indicateurs transversaux sur l'ensemble des types de SAF étudiés, compilant données de la littérature et données issues du projet.
- Une modélisation, élaborée à partir de méta-analyses des données recueillies, des interactions entre services qui bâtissent l'espace des compromis, et des leviers biophysiques et socio-économiques concourant à l'établissement des compromis actuels entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques.

WP2T1 (Tâche 1): Caractérisation des services écosystémiques et interactions biophysiques et biologiques dans les SAF

Laurent Cournac (IRD - UMR Eco&Sols), Jacques Avelino (CIRAD - UR Bioagresseurs)

Les combinaisons services/sites étudiées et les questions, démarches et objectifs de recherche spécifiques à ces différentes combinaisons sont résumés ci-après et les opérations de recherche décrites en annexe.

Caractérisation de l'impact des SAF sur les services d'approvisionnement :

La caractérisation de l'impact des SAF sur les services de production et d'approvisionnement sera transversale à l'ensemble des opérations de recherche développées dans cette tâche. Elle se fera via l'analyse des déterminants du rendement pour la culture de base mais également toutes les autres productions domestiques et marchandes. Elle concernera donc a priori toutes les zones couvertes par le projet. Les indicateurs pour caractériser la production seront établis en lien avec les WP0 et WP1.

- Dans la zone cacaoyère du Cameroun (Ngomedzap), l'évaluation des systèmes agroforestiers sera réalisée via la méthode du Diagnostic agronomique régional (Doré et al. 2008), à la fois sous l'angle de la production du cacao marchand, et sous celui des autres productions domestiques et marchandes. Une approche synchronique sera mise en place sur un dispositif déployé au sein de parcelles d'agriculteurs en phase de production (*WP2T1 Opération 1*).
- Dans les deux grandes régions caféières, au Kenya et au Costa Rica (*WP2T1 Opérations 2 et 3*), l'impact des couverts arborés et des pratiques agricoles sur la production sera analysé : à partir de données existantes (nombreuses années de suivi au Costa Rica) et de données nouvellement acquises dans les dispositifs installés au cours de ce projet (Kenya/Tanzanie).
- Dans les zones d'Afrique de l'Ouest étudiées dans le projet, l'effet de la distance à l'arbre ou à l'arbuste du rendement des cultures de céréales sera étudié, via une analyse agronomique des composantes du rendement au Sénégal (*WP2T1 Opération 4*), et au travers de l'étude des interactions hydriques au Bénin et au Niger (*WP2T1 Opération 5*).

Caractérisation de l'impact des SAF sur les autres services écosystémiques

Les services (et parfois les « disservices ») écosystémiques fournis par les agroécosystèmes sont de divers ordres. En partant des principaux thèmes identifiés par Power (2010), nous retiendrons cinq catégories, les trois premières ayant trait aux flux et stocks de matière (les composantes physiques de l'écosystème), les deux suivantes ayant trait à la diversité biologique supportée et sa répercussion sur leur fonctionnement (les acteurs de l'écosystème).

Flux et stocks de carbone: productivité primaire, allocation et séquestration du C

Les SAF sont souvent considérés comme des puits de carbone tant du point de vue de la biomasse (aérienne et racinaire) qu'ils supportent, que de celui de leur contribution à l'augmentation du stock organique du sol. Mais leurs performances de ce point de vue (taille et stabilité du puits de carbone) sont variables. Ceci impacte bien entendu les bilans en GES des systèmes, mais les stocks de C jouent également au niveau des sols un rôle central pour leur stabilité structurale et leur fertilité.

- Dans les systèmes caféiers du Costa Rica (*WP2T1 Opération 2*) on étudiera les interactions entre flux de C et constitution des stocks, en s'appuyant sur le dispositif instrumenté géré par Eco&Sols dans le cadre du SOERE F-ORE-T (tour à flux) et l'application de nouvelles méthodes complémentaires de résolution des accroissements de biomasse (microdendrométrie). Ces données jointes aux paramètres structuraux des

écosystèmes (WP1T1), contribueront à alimenter une modélisation mécaniste des flux de matière. L'allocation du C (aérienne/souterraine) sera suivie sous l'angle de la constitution de la production et celui de la mise en place des stocks de C dans les sols volcaniques de la zone (*WP2T1 Opération 6*).

- Le suivi de la constitution de la biomasse carbonée et de son allocation sera également mis en place au Kenya. Dans ces régions, l'impact des SAF sur les biomasses aériennes a déjà été étudié dans plusieurs contextes. Le présent projet propose de prendre en compte l'allocation souterraine de carbone (biomasses racinaires et stocks C des sols) pour appréhender de manière globale l'effet des SAF sur les flux et stocks de carbone (*WP2T1 Opération 3*).

Au final, ces deux dispositifs permettront d'acquérir des données comparatives des interrelations agroforesterie/production primaire/stocks de C dans deux grandes zones caféières contrastées.

- Les mesures des flux comme des stocks de C seront également abordées dans les dispositifs mis en place en zone sèche sur les systèmes céréaliers d'Afrique de l'Ouest. Ainsi les effets des modes de gestion des arbustes sur les croissances et biomasses aérienne et racinaire du ligneux comme de la culture céréalière seront suivis au travers des différents essais réalisés en zone sèche (*opérations 2.4 et 2.5*). Des analyses de l'impact des arbustes sur les stocks de C des sols et leur dynamique seront effectuées par prélèvements de profils de sols au Sénégal dans les parcelles de l'ISRA (*opération 2.4*). Des prélèvements ciblés seront ensuite effectués sur tous les sites de la zone sèche afin de mener une comparaison intersites et intersystèmes de l'impact de l'agroforesterie sur les stocks de C des sols.
- Des mesures de stocks de C du sol seront également effectuées dans les SAF à base de cacaoyers au Cameroun afin de déterminer l'influence de la composition et de l'âge des SAF sur la séquestration du C dans les sols après différents précédents de végétation (forêt ou savane) (*opération 2.4b*).

Flux et stocks d'eau, impact des SAF sur le régime hydrique des parcelles

En lien étroit avec la fixation et la distribution du carbone, la présence d'arbres dans les parcelles de culture a des impacts considérables sur le cycle de l'eau : extension de la zone d'exploration racinaire, impact sur l'ETP via l'ombrage et les effets coupe-vent, potentiel de compétition avec la culture ou au contraire de facilitation via des phénomènes d'ascenseur hydraulique, infiltration des précipitations, etc.

- Dans les zones de culture caféière, nous nous intéresserons à l'effet des SAF sur le bilan hydrique à l'échelle de la parcelle au Costa Rica, avec une attention particulière sur les effets de la densité des arbres sur le fonctionnement hydrique du caféier (*opération 2.2*) et à l'échelle du bassin versant au Costa Rica et en Afrique de l'Est, notamment via l'étude de l'impact des SAF sur l'ETR, le drainage, les ruissellements et l'érosion (*opérations 2.2 et 2.7*).
- Dans les zones sèches, le fonctionnement hydrique des arbustes (Guiera) et des arbres (Karité) ainsi que ses interactions avec celui des cultures associées seront précisément étudiés grâce à l'appui des dispositifs instrumentés gérés par HSM et le LTHER au Niger et au Bénin dans le cadre de l'ORE AMMA Catch (*opération 2.5*). Des approches de traçage chimique seront aussi mises en œuvre pour quantifier les parts des prélèvements d'eau pluviale et d'eau de la nappe dans les systèmes à karité. De plus l'occurrence d'éventuels phénomènes d'ascenseur hydraulique sera testée par la mise en place de profils tensiométriques (*opération 2.5*). Des mesures complémentaires de profils hydriques faites par Eco&Sols au Sénégal et au Burkina Faso sur les parcelles à Piliostigma et à Faidherbia

(opération 2.4) fourniront des éléments de comparaison sur l'impact de ces systèmes sur les régimes hydriques dans des contextes agroclimatiques légèrement différents

Impact des SAF sur la préservation des sols : richesse organominérale et mitigation de l'érosion

Les SAF sont souvent décrits comme permettant de maintenir ou d'améliorer les caractéristiques de fertilité des sols, en favorisant la mobilisation des nutriments sur de plus grandes profondeurs, notamment via des associations microbiennes ou mycorhiziennes, et en stabilisant la texture et la richesse en matière organique des sols. Cependant des études précises sur les bilans, les dynamiques, et la synchronisation entre la disponibilité des nutriments et les cycles culturaux dans les SAF sont à développer pour mieux appréhender les bénéfices (ou non) que l'on peut en attendre. Dans le cadre de ce projet nous étudierons plus particulièrement :

- Le cycle de l'azote dans le système café/érythrine au Costa Rica.
Une des associations couramment pratiquée au Costa Rica est celle du café avec un arbre fixateur d'azote, l'érythrine (*Erythrina poeppigiana*). Via une approche de traçage isotopique, l'effet de cette association sur le bilan de N à la parcelle, les redistributions d'azote qui s'opèrent entre arbre d'ombrage et caféier, et l'impact potentiel en termes de limitation des intrants seront explorés. Cette étude s'appuiera sur une expérimentation combinant la fertilisation azotée et la densité d'arbres (opération 2.8).
- Dynamique de N et P en lien avec la présence d'arbustes en zone sahélienne
Au Sénégal, l'impact des ligneux sur la dynamique des nutriments (N et P) sera étudié sur un réseau de parcelles de l'ISRA en fonction de la distance à l'arbre (opération 2.4). Les méthodologies d'échantillonnage et d'analyse mises au point sur ce dispositif seront ensuite transposées sur les autres systèmes agroforestiers de zone sèche.
- Les interactions entre régime pédoclimatique SAFs et érosion au Kenya et au Costa Rica
La préservation de la qualité des sols concerne non seulement leur capacité à soutenir un cycle des nutriments en phase avec les besoins de la culture, mais aussi au tout premier chef leur intégrité. Particulièrement dans les zones humides, le ruissellement et l'érosion peuvent être mitigés par la présence d'arbres de couverture. Ces phénomènes seront étudiés au Costa Rica (opération 2.7) et au Kenya (opération 2.3).
- Evolution de la fertilité en relation avec la composition et l'âge des SAF à base de cacaoyers
Au Cameroun, l'évolution des caractéristiques organominérales du sol et du statut nutritionnel du cacaoyer seront analysés dans les SAF installés sur savane en relation avec une approche des traits fonctionnels des espèces d'ombrage (opération 2.4b).

Effet des SAF sur la diversité et la dynamique des bioagresseurs et des auxiliaires

La présence d'arbres dans la parcelle, ou dans le paysage, peut avoir des répercussions sur l'état sanitaire de la culture. Les effets varient en fonction des espèces, bioagresseurs ou espèces bénéfiques, de leurs traits de vie, et des environnements physiques (Ratnadass et al. 2012). Ces effets peuvent être complexes avec des effets antagonistes au sein même du cycle de vie de certains bioagresseurs (certains processus favorisés, d'autres défavorisés), des effets contraires sur diverses espèces (une espèce favorisée, une autre défavorisée), ou encore des interactions avec l'environnement (un effet de régulation d'un bioagresseur dans une situation, mais un effet opposé dans une autre). Le bilan général de ces effets est donc très difficile à définir a priori.

- Dans les zones cacaoyères du Cameroun, on étudiera (à l'échelle de la parcelle) l'impact de la densité (niveau d'ombrage) et de la biodiversité végétale des agroforêts sur les dynamiques de deux bioagresseurs majeurs : *Sahlbergella singularis*, ravageur de la

famille des miridés et le pathogène *Phytophthora megakarya*. Un accent particulier sera porté sur la structure spatiale de la biodiversité végétale et ses effets sur les niveaux d'attaque et la distribution spatiale des bioagresseurs. Les voies d'action étudiées seront le microclimat et les ennemis naturels (*opérations 2.9 et 2.10*).

- Le caféier arabica au Cameroun est particulièrement sensible à l'antracnose des baies. La propagation de la maladie dépend à la fois de l'architecture propre du caféier et de la structure du couvert des arbres d'ombrage. Afin de mieux caractériser ces interactions, on analysera d'une part la dispersion spatio-temporelle de l'antracnose des baies à l'échelle de la plante et l'effet des interactions « génotype x niveau d'ombrage » sur le développement de la maladie. (*opération 2.11*)
- Au Kenya, les trois principaux bioagresseurs du caféier Arabica seront étudiés : l'antracnose des baies (*C. kahawae*), le scolyte des baies (*Hypothenemus hampei*) et la rouille orangée (*Hemileia vastatrix*). On considérera l'ensemble des facteurs connus pour affecter les bioagresseurs à l'échelle de la parcelle. Une approche par enquête sera utilisée (*opération 2.3*).
- Au Costa Rica, on étudiera, par des approches factorielles, les effets de l'ombrage sur les bioagresseurs du caféier et du cacaoyer à l'échelle de la parcelle: (i) les effets antagonistes sur les phases de dispersion et germination des propagules de la rouille orangée du caféier (*H. vastatrix*) et de la moniliose du cacaoyer (*Moniliophthora roreri*) (ii) les effets de l'interaction ombrage x topographie sur la maladie américaine du caféier (*Mycena citricolor*) (iii) les effets contraires sur les différents bioagresseurs du caféier. (*opération 2.12*). Enfin, à l'image de ce qui est proposé pour le Cameroun, on étudiera l'effet de la structure spatiale de la biodiversité végétale associée sur la moniliose du cacaoyer et sa distribution spatiale (*opération 2.10*).
- Dans les zones agroforestières soudano sahéliennes, on s'intéressera aux effets de ces arbres sur les communautés d'arthropodes (ravageurs et ennemis naturels) dans les systèmes à base de céréales, à l'échelle de la parcelle et du paysage. Une approche par enquête permettra d'étudier les effets de l'organisation et de la nature du paysage. On espère identifier des contextes paysagers et les pratiques qui permettent, à la fois, d'assurer la connectivité pour les espèces impliquées dans la lutte biologique, et de limiter les déplacements des organismes nuisibles (*opération 2.13*).

Effet des SAF sur la biodiversité des acteurs de l'agroécosystème

La biodiversité végétale est déjà étudiée dans la structure des peuplements (cf WP1).

On s'intéressera ici à l'impact du SAF sur la biodiversité fonctionnelle du sol (et plus particulièrement de la faune) dans les systèmes caféiers au Costa Rica. Il s'agit, via une analyse isotopique des spécimens inventoriés, de positionner leurs rôles respectifs dans les réseaux trophiques de l'écosystème. Cette étude constituera une référence pour appréhender la composante pédobiologique des systèmes agroforestiers (*opération 2.14*).

WP2T2 (Tâche 2) : Méta-analyses biophysiques et socio-économiques : Dynamique, interactions et compromis entre Services d'Approvisionnement - Services Ecosystémiques.
Olivier Roupsard (Cirad - UMR Eco&Sols)

Les systèmes agroforestiers tropicaux choisis par ce projet ont pour avantage d'englober de larges gradients pédoclimatiques, d'intensification, de productivité et de contexte socio-économique. Les hypothèses, questions et thématiques de recherche ainsi que les méthodologies sont cependant relativement communes sur les sites. Cette situation est propice à tenter de dégager de grandes lignes ou grandes lois dans la dynamique et enjeux des SAF, en particulier sur la question des compromis entre Services, en exploitant cette diversité

des situations offertes. Nous proposons pour cela de mettre en œuvre des comparaisons multi-sites, voire des méta-analyses pour les questions que les bases de données permettent d'aborder au travers d'un nombre suffisant de sites.

L'essentiel du travail sera de choisir les questions de recherche, puis de recompiler les données déjà existantes (bibliographie, data mining), de les agréger dans une base de données cohérente commune dont la structure sera définie en commun au moment du lancement du projet et enfin de les analyser ou de les modéliser. On y ajoutera les données produites par le présent projet au fur et à mesure de son avancement.

Compromis entre Services d'Approvisionnement et Services Ecosystémiques

Dans un premier lot d'analyses, nous chercherons à tester les hypothèses sur les paramètres biophysiques déterminants pour l'élaboration des compromis. Ainsi par exemple nous aborderons, en recoupant données expérimentales et données issues de la modélisation, la manière dont la densité des couverts peut être optimisée en fonction des objectifs de production et de préservation. On s'intéressera également à la manière dont la biodiversité des acteurs de l'écosystème affecte ou non son fonctionnement de manière significative, suivant le service considéré et les situations analysées. Ceci est donné à titre d'exemple, mais de manière plus générale, les hypothèses dégagées au cours des nombreuses approches d'agroécologie fonctionnelle développées dans ce projet pourront être éclairées au travers des méta-analyses.

Dynamique des Services d'Approvisionnement et Services Ecosystémiques

Dans un deuxième lot d'analyses, nous essaierons de tester la manière dont les contextes socio-économiques et les stratégies des acteurs contribuent à modérer les SAF et in fine à conditionner les services qu'ils rendent. Ainsi les évolutions des marchés, des régulations socio-économiques et des milieux physiques, qui obéissent à des logiques et des temporalités différentes, qui impactent également des échelles différentes, vont contribuer à façonner l'efficacité des SAFs et sur le long terme à conditionner leur adoption ou non. Les méta-analyses pourront ainsi être employées pour décrypter les leviers qui conduisent à l'installation des SAF dans les paysages agraires, à leurs dynamiques et à l'émergence des innovations dans leurs modes de conduite.

Les différentes hypothèses seront déléguées en fonction des questions traitées à des spécialistes issus du projet, qui dirigeront le travail des étudiants impliqués sur ces analyses et la construction de la base de données. Leur travail aboutira, en sus de publications transversales en commun entre les parties prenantes du projet, à la constitution d'une base de données d'envergure, qui constituera un des livrables valorisables du projet.

WP3 : Analyse des possibilités d'amélioration des SAF (à travers des innovations techniques et institutionnelles)

Animation: Bruno Rapidel (CIRAD - UMR System) ; Isabelle Droy (IRD – UMI Résiliences) ; Eduardo Somarriba (CATIE – Costa Rica)

Problématique

En lien avec les tâches T2 du WP1 et T3 du WP2, le WP3 cherchera à dépasser les limitations de l'appropriation des résultats scientifiques du projet par les acteurs. Les améliorations envisagées des SAF intègrent, d'une part l'analyse des réponses possibles aux questions soulevées dans le WP1 sur le fonctionnement actuel des SAF, d'autre part les résultats du WP2 sur les compromis entre services écosystémiques. Ces améliorations sont de natures agronomique, socio-économique et institutionnelle, leurs combinaisons faisant l'objet de scénarios analysés avec les acteurs (approche participative) et traduits en propositions sur

les pratiques agronomiques, mais aussi sur les systèmes d'incitations monétaires (prix, taxes, subventions, primes...) et non monétaires (normes, obligations,...).

Objectifs

Les objectifs généraux du WP3 sont l'analyse des possibilités d'amélioration des SAF et la construction et l'évaluation participative de scénarios qui les intègrent, d'une part en fonction de la diversité des productions, celle des différents services fournis et celle de leur valorisation par les acteurs du territoire, d'autre part en fonction des dynamiques des SAF.

Méthodologie, opérations

Les champs d'amélioration proposés à l'évaluation tiendront compte :

- des services environnementaux (à préciser par Bruno) et les compromis issus du WP2;
- de la diversité des productions issue du WP1/WP2;
- des différents pas de temps dans l'évaluation, incluant l'analyse de la réversibilité des choix (très évident dans le cas du cacao, par exemple) ;

Pour cela, nous mobiliserons des connaissances issues de l'étude des pratiques sur différents continents et dans différents contextes à deux niveaux (échelle exploitation/parcelle et échelle territoire) correspondant aux deux tâches de ce WP:

- **WP3T1 (Tâche 1)** : au niveau des producteurs agroforestiers, en considérant d'éventuels changements dans leurs pratiques de gestion, cette tâche relève d'une **analyse comparée des améliorations possibles des SAF aux échelles de la parcelle et de l'exploitation**. Responsable : *Bruno Rapidel (CIRAD - UMR System)*
- **WP3T2 (Tâche 2)** : au niveau de l'ensemble des acteurs du territoire, en évaluant différentes stratégies d'intervention et de gestion du milieu, cette tâche concerne **l'analyse comparée des systèmes d'incitations (institutions) aux échelles des exploitants et des territoires pour promouvoir une production accrue des services écosystémiques par les SAF**. Responsable : *Jean-François Le Coq (CIRAD - UMR ART Dev)*

Les acteurs incluent des représentants de producteurs, mais aussi des ONG, entreprises de la filière, utilisateurs des services environnementaux, administrateurs publics, décideurs politiques, etc. sur les terrains costaricien et nicaraguayen, dans le cas de la filière café.

Ces deux tâches se déclineront en trois opérations (décrites en annexe) dont la première est transversale aux deux tâches:

- L'opération 1 (*WP3 Opération 1*) sur la conception de systèmes de culture en coordination avec les acteurs à l'échelle de la parcelle et du bassin versant. A l'échelle de la parcelle (Tâche 1), en concertation avec les producteurs sur la base de l'explicitation des compromis et à l'aide de modèles, il s'agira d'élaborer des propositions de modifications des systèmes de gestion de l'ombrage dans les caféières d'El Cuá, au Nicaragua. A l'échelle du bassin versant (Tâche 2), des résultats de modélisation et de terrain à l'échelle du paysage seront combinés pour faire émerger la base de l'établissement d'un système de paiement pour services environnementaux dans le bassin versant de LLano Bonito au Costa Rica en relation avec l'ICE et FONAFIFO.
- L'opération 2 (*WP3 Opération 2*) concerne l'identification et l'évaluation participatives d'innovations techniques pour l'amélioration des systèmes agro-forestiers à base de cacaoyer du Centre Cameroun à Ngomedzap, exclusivement aux échelles de la parcelle et de l'exploitation (Tâche 1).

- L'opération 3 (*WP3 Opération 3*) porte sur la simulation de la mise en œuvre d'instruments locaux dans les territoires (Tâche 2) pour tester différentes nouvelles règles sur l'adoption de pratiques et d'évolution des caféières au Costa Rica à Llano Bonito et au Nicaragua à El Cuá.

Résultats attendus

De la tâche 1 :

- Des scénarios de changement dans les pratiques des producteurs agroforestiers
- Des critères d'évaluation de ces scénarios
- Des recommandations pour réduire les obstacles à l'amélioration des pratiques dans les SAF et pour assurer des mécanismes d'apprentissage face aux incertitudes au fur et à mesure des avancées (*learning-by-doing*).

De la tâche 2 :

- Une relation entre la prise de décision des acteurs des SAF et les systèmes d'incitations monétaires (prix, taxes, subventions, primes...) et non monétaires (règles, normes, obligations, interdictions,...)
- Une évaluation des méthodes permettant d'explorer les possibles changements de comportement vis-à-vis des SAF lié à des changements institutionnels
- Des innovations institutionnelles acceptables par les acteurs en vue d'optimiser les services rendus par les SAF.

7. Résultats attendus à l'échelle du projet et bénéficiaires

Le projet s'attachera à produire des connaissances et des savoirs sur le fonctionnement des systèmes agroforestiers, des outils et des méthodes pour la conception et l'évaluation de ces systèmes. Il contribuera à capitaliser, valoriser et structurer les savoirs, les acquis et les pratiques des équipes du CIRAD, de l'IRD et de leurs partenaires, tout en produisant de nouvelles connaissances. Il mettra en place un espace permettant réflexions et échanges sur le développement de concepts, d'approches, et d'outils communs rendant crédibles une plus-value de l'association entre le CIRAD, l'IRD au service du développement des pays du sud par la formation, la recherche et l'innovation, conformément aux missions de l'AIRD. Les bénéficiaires du projet seront donc les chercheurs eux-mêmes (du CIRAD, de l'IRD et des institutions partenaires), les étudiants formés et diplômés, les organismes de développement et les agriculteurs du Sud.

Sans revenir sur les résultats spécifiques attendus dans les différents WP, nous rappelons ici les éléments fédérateurs que le projet vise à construire :

- Une dynamique interdisciplinaire et inter-équipes du CIRAD, de l'IRD et de leurs partenaires du Sud durable autour de la caractérisation des relations structure-services et de l'analyse par scénarios de l'espace des compromis entre production et autres services dans les SAF.
- Un réseau de sites expérimentaux et de territoires agroforestiers pouvant servir de support à des études de plus long terme et à des analyses comparatives.
- Une approche innovante pour l'étude des compromis entre services dans les SAF, éprouvée sur quelques sites et mobilisable pour d'autres projets.
- Une production d'outils et de méthodes validés (dispositifs expérimentaux et méthodes d'analyse ; indicateurs ; modélisation ; base de données ; outils spécifiques) également valorisés sous forme de publications.
- De la formation, principalement au niveau master mais aussi en thèse, d'étudiants du nord et du sud.
- Des réponses de qualité aux appels d'offres à venir.

8. Ressources humaines apportées par le projet (étudiants)

Au total, 63 stages, principalement de master 2, mais aussi d'ingénieur et de césure, seront financés par le projet. Ils se répartissent comme suit : 20 pour le WP1 (10 pour chacune des deux tâches sur la structure et sur la dynamique des SAF respectivement), 38 pour le WP 2 (34 pour la tâche 1 concernant les services, 4 pour la tâche 2 concernant les méta-analyses). Le projet assurera ou contribuera également au fonctionnement de 9 thèses en cours, à raison de 7 pour la tâche 1 du WP2 et 2 pour le WP3.

9. Indicateurs d'évaluation

- Projets de recherche dérivés présentés et/ou acceptés pour financement,
- Publications scientifiques ; Communications à manifestations scientifiques,
- Diplômes de Masters, d'Ingénieurs et de thèses obtenus au nord et au sud,
- Modules de formation & cours dispensés ; Participations à comités & jurys de thèses,
- Devenir des stagiaires du Sud et du Nord encadrés dans le cadre du projet.

10. Considérations sur les risques du projet

L'objectif du projet est précisément de rechercher des compromis d'exploitation des SAF qui réduisent les risques environnementaux et augmentent la sécurité alimentaire des exploitants, soit directement (réduction des pollutions, préservation et optimisation de productions diversifiées), soit indirectement (réduction de l'érosion, maintien de la fertilité, lutte contre le risque de sécheresse). Ce faisant, dans le cadre de ce projet, il n'est pas prévu d'introduction d'organismes, d'espèces végétales potentiellement invasives ou de plantes génétiquement modifiées.

En termes socio-économiques, la diversification des productions est une stratégie directe de réduction des risques de famine. Elle a pour objet une augmentation des revenus, mais aussi une valorisation accrue des productions et un meilleur partage des ressources tout en procurant une sécurité foncière, c'est-à-dire une réduction des risques sociaux.

Au contraire, face aux défis majeurs auxquels sont confrontés les pays tropicaux : pauvreté, insécurité alimentaire, changement climatique, perte de biodiversité, il peut y avoir un risque économique important à rompre, sans les évaluer au préalable, avec les techniques agroforestières traditionnelles. C'est cette évaluation que se propose de faire le projet. Il existe également un risque social lié à l'aggravation des vulnérabilités des communautés concernées, dans le cas où elles seraient contraintes d'adopter des techniques de monocultures, vivrières ou de rente, basées exclusivement sur l'augmentation de leur rentabilité à court terme. Vu les contraintes de temps, de budget et de ressources humaines, ces aspects ne pourront pas être traités dans le cadre du projet. Celui-ci restera centré sur l'alternative, supposée plus sécurisante, que constituent les SAF, mais des études comparatives d'accompagnement peuvent éventuellement être envisagées ultérieurement ou parallèlement dans le cadre de réponses à d'autres appels d'offre.

Enfin, en ce qui concerne le risque inhérent à la gestion du projet, il tient à la grande diversité des situations - en particulier les contrastes entre les zones tropicales humides et les zones tropicales sèches - et des services traités, mais aussi à celle des disciplines et des équipes impliquées. Tout l'enjeu de la coordination et de l'animation du projet (WP0) sera donc de réussir à fédérer l'ensemble des intervenants du projet autour d'une dynamique

scientifique interdisciplinaire, en les faisant passer d'analyses partielles à une analyse intégrée dans un cadre conceptuel partagé.

11. Implications éthiques

- Les produits du projet SAFSÉ seront des « biens publics ».
- Les questions de recherche sont co-construites avec les partenaires du Sud.

12. Bibliographie

- Avelino, J., Cabut, S., Barboza, B., Barquero, M., Alfaro, R., Esquivel, C., Durand, J.-F., Cilas, C., 2007. Topography and crop management are key factors for the development of american leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica. *Phytopathology* 97, 1532-1542.
- Asare A., Tetteh D.A. (2010) The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems* 79: 355-368.
- Asse R. & Lassoie J. P. (2011) Household decision-making in agroforestry parklands of Sudano- Sahelian Mali. *Agroforestry Systems* 82: 247-261.
- Barradas VL, Fanjul L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. *Agric For Meteorol* 38:101-112
- Bayala J. , Teklehaimanot Z. & Ouedraogo S. J. (2002) Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 54: 203-214.
- Beer J, 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. *Agrofor Syst* 5:3-13
- Beer J, Muschler RG, Kass D, Somarriba E 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor Syst* 38:139-164
- Bellefontaine R. (1997) Synthèse des espèces des domaines sahélien et soudanien qui se multiplient naturellement par voie végétative, pp. 95-104. Dans : d'Herbès, Ambouta, Peltier (eds.), Actes de l'Atelier « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Niamey, nov. 1995 », John Libbey Eurotext.
- Bisseleua D.H., Vidal B.S. (2008) Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodiversity and Conservation* 17 : 1821-1835.
- Boffa J-M., Taonda S. J-B., Dickey J.B. & Knudson D.M. (2000) Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 49: 153-175.
- Bonnassieux A. (2007) Dynamiques migratoires et transgressions des frontières urbain-rural au Niger, pp. 159-169. Dans : Bouquet C. (ed.), Regards géopolitiques sur les frontières. Harmattan.
- Bosselmann, A.S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C.S., Ræbild, A., Usma, H., 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129, 253-260.
- Cannavo P, Sansoulet J, Harmand JM, Siles P, Dreyer E, Vaast P, 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 1-13.
- Dawoe E.K., Isaac M., Quashie-Sam J. (2010) Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant Soil* 330: 55-64.
- DeClerck, F., Vaast, P., Escalante, M., Philpott, S., Soto Pinto, L., Sinclair, F. 2006. Report on data available on tree cover in coffee plantations along the MBC and its impact on productivity and biodiversity, pp. 54.
- Dia A. H., Becerra S., Gangneron F. (2008) Crises climatiques et ruptures politiques dans les transformations de l'action publique environnementale au Mali. *Vertigo, Revue électronique canadienne des sciences de l'environnement*, 8, 1 (art 7).
- Doré, T., Clermont-Dauphin, C., Crozat, Y., David, C., Jeuffroy, M.H., Loyce, C., Makowski, D., Malézieux, E., Meynard, J.M., Morison, M. (2008) Methodological progress in regional agronomic diagnosis. *Agron Sustain dev*. Doi: 10.1051/agro: 2007031.
- Dossa, E.L., Diedhiou, S., Compton, J.E., Assigbetse, K.B., Dick, R.P. (2010) Spatial patterns of P fractions and chemical properties in soils of two native shrubs communities in Senegal. *Plant and Soil* 327: 185-198.
- Dugué P. (1999) Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. Étude de cas au Nord-Cameroun, et essai de généralisation, Montpellier, France, Cirad-Tera.

- Garrity D.P., Akinnifesi F. K., Ajayi O. C., Weldesemayat S. G., Mowo J. G., Kalinganire A., Larwanou M., Bayala J. (2010) Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security* 2: 197–214.
- Gaze, S.R., Brouwer, J., Simmonds, L.P., Bromley, J. (1998) Dry season water use patterns under *Guiera senegalensis* L. shrubs in a tropical savanna. *Journal of Arid Environment* 40: 53–67.
- Gbemavo, DSJC., Glèlè Kakai, R., Assogbadjo, A., Katary, A., Gnganglè, C. (2010) Effet de l'ombrage du karité sur le rendement capsulaire du coton dans les agroécosystèmes coton karité du Nord Bénin. *Tropicicultura* 28: 193-199.
- Glèlè Kakai R., Akpona T. J. D., Assogbadjo A. E., Gaoué O.G., Chakeredza S., Gngangle P.C., Mensah G. A. & Sinsin B. (2011) Ecological adaptation of the shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) along climatic gradient in Benin, West Africa. *African Journal of Ecology* 49: 440–449.
- Gómez Delgado F, Roupsard O, Le Maire G, Taugourdeau S, Pérez A, van Oijen M, Vaast P, Rapidel B, Harmand JM, Voltz M, Bonnefond JM, Imbach P, Moussa R, 2011. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 369–392.
- Guengant J.-P., Banoin M., Quesnel A. (2002) Dynamique des populations, disponibilité en terres et adaptation des régimes fonciers : le cas du Niger. FAO, Rome.
- Harmand, J.M., Avila, H., Dambrine, E., Skiba, U., De Miguel, S., Renderos Duran, R.V., Oliver, R., Jimenez, F., Beer, J. 2007. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta* agroforestry system in southern Costa Rica. *Biogeochemistry*. 85, 2:125-139.
- Hergoualc'h K, Blanchart E, Skiba U, Hénault C, Harmand JM, 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus a coffee agroforestry system with *Inga densiflora* in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148: 102-110.
- Huxley P.A. (1999) *Tropical Agroforestry*. Londres, Grande Bretagne, Blackwell Science.
- Juhrbandt J., Duwe T., Barkmann J., Gerold G., Marggraf R. (2010) Structure and management of cocoa agroforestry systems in Central Sulawesi across an intensification gradient. In : *Tropical rainforests and agroforests under global change. Ecological and socio-economic valuations*. Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (eds). Dordrecht, Pays-Bas, Springer: 115-140.
- Kater L.J., Kanté S. & Budelman A. (1992) Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South-Mali. *Agroforestry Systems* 18: 89–105.
- Kessler J.J. (1992) The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry Systems* 17: 97–118.
- Kizito, F., Draglia, M., Sene, M., Lufafa, A., Diedhiou, I., Dick, R.P., Selker, J.S., Diack, M., Dossa, E., Khouma, M., Badiane, A.N., Ndiaye, S. (2006) Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with pearl millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environment* 67: 436–455.
- Kizito, F., Sene, M., Draglia, M., Lufafa, A., Diedhiou, I., Dossa, E., Cuenca, R., Selker, J.S., Dick, R.P. (2007) Soil water balance of annual crop-native shrub systems in Senegal's Peannut Basin: the missing link. *Agricultural Water Management* 90: 137– 148.
- Laird S.A., Awung G.L., Lysinge R.J. (2007) Cocoa farms in the Mount Cameroon region: biological and cultural diversity in local livelihoods. *Biodiversity and Conservation* 16: 2401-2427.
- Louppe, D. (1991) *Guiera senegalensis*: espèce agroforestière? Micro-jachère dérobée de saison sèche et approvisionnement énergétique d'un village du centre nord du Bassin Arachidier sénégalais. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* 228: 41–47.
- Milleville P. (2007) Une agronomie à l'oeuvre : Pratiques paysannes dans les campagnes du Sud. Versailles, Paris, Editions Quae, Editions Arguments, 243 p.
- Mouen Bedimo, J.A., Bieyese, D., Nyassé, S., Nottéghem, J.L., Cilas, C., 2010. Role of rainfall in the development of coffee berry disease in *Coffea arabica* caused by *Colletotrichum kahawae* in Cameroon. *Plant Pathology*, 59: 324-329.
- Nair P.K.R. (1993) *An introduction to agroforestry*. Dordrecht, Pays-Bas, Kluwer Academic Publishers, 499 p.
- Oke D.O., Odebiyi K.A. (2007) Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122: 305-311.
- Ong K. & Leakey R. R. B. (1999) Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannas . *Agroforestry Systems* 45: 109–129 .
- Ouédraogo S.J., Devineau J-L. (1996) Rôle de la jachère dans la reconstitution du parc à karité (*Butyrospermum paradoxum* Gaertn. F. Hepper) dans l'Ouest du Burkina Faso. pp. 81–87, Dans: Actes de l'atelier « La jachère lieu de production, Bobo-Dioulasso 2–4 octobre 1996 ». Projet CEE « Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest », Projet 7 ACP RPR 269. Publication CORAF.

- Pelissier P. (1980) L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noire. Dans : Pelissier P. « L'arbre en Afrique tropicale : la fonction et le signe ». Cahiers O.R.S.T.O.M, série Sciences Humaines, vol. XVII, n° 3-4:131-136.
- Pelissier P. (2001) Les interactions rurales – urbaines en Afrique de l'Ouest et Centrale. Le bulletin de l'APAD n°19, Les interactions rural – urbain. Circulations et mobilisations des ressources.
- Peltier R. (1996) Les parcs à *Faidherbia*. Cahiers Scientifiques n°12, édition du CIRAD-Forêt.
- Power, A.G. (2010) Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2959–2971.
- Ratnadass, A., P. Fernandes, J. Avelino, and R. Habib. (2012) Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32:273–303.
- Ruf F., Schroth G. (1995) Chocolate Forests and Monocultures : A Historical Review of Cocoa Growing and Its Conflicting Role in Tropical Deforestation and Forest Conservation. In : *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Schroth G., Da Fonseca G.A.B., Harvey C.A., Gascon C., Vasconcelos H.L., Izac A.M.N. (eds). Washington, Etats-Unis, Island Press : 107-133.
- Schroth G., Harvey C. (2007) Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation* 16: 2237-2244.
- Siles, P., Harmand, J-M., Vaast, P., 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica*, L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 78 : 269-286.
- Snoeck D., Abolo D., Jagoret P.(2010) Temporal changes in VAM fungi in the cocoa agroforestry systems of central Cameroon. *Agroforestry Systems* 78: 323-328.
- Somarriba, E., Harvey, C.A., Samper, M., Anthony, F., Gonzalez, J., Staver, C., Rice, R.A. 2004. Biodiversity conservation in neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations, in: Schroth,G., Fonseca, G.A.B, Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L., Izac A.M.N. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*, Island Press, Washington, 198-226.
- Sonwa D.J., Nkongmeneck A.B., Weise S.F., Tchataat M., Adesina A.A., Janssens M.J. (2007) Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 16: 2385-2400.
- Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernandes, J., Caballero-Nieto, J., 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80 : 61-69.
- Teklehaimanot Z. (2004) Exploiting the potential of indigenous agroforestry trees: *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems* 61: 207–220.
- Vaast P., Bertrand B., Perriot J.J., Guyot B., Génard M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the science of food and agriculture*, 86 (2) : 197-204.
- Vaast P, Harmand JM, 2002. Importance des systèmes agroforestiers dans la production de café en Amérique centrale et au Mexique. In : *Recherche et caféiculture, Plantations, Recherche, Développement*, pp: 35-40.
- Vaast P, van Kanten R, Siles P, Angrand J, Aguilar A., 2007. Chapter 9. Biophysical interactions between timber trees and Arabica coffee in suboptimal conditions of Central America. In: Jose´ S, Gordon AM (eds) *Towards agroforestry design: an ecological approach*. Springer, Berlin, pp 135–148 Wezel, A., Rajot, J.L., Herbig, C. (2000) Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agroecosystems in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environment* 44: 383–398.
- Wood G.A.R., Lass R.A. (1985) *Cocoa*. Fourth edition. Londres, Grande Bretagne, Longman, Tropical Agriculture Series, 620 p.
- Zapfack L., Engwald S., Sonke B., Achoundong G., Birang A.M. (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 2 : 2047-2061. Asse R. & Lassoie J. P. (2011) Household decision-making in agroforestry parklands of Sudano- Sahelian Mali. *Agroforestry Systems* 82: 247–261.

13. Financement demandé

Synthèse du budget par année et par poste de dépenses (voir annexes pour les informations détaillées)

| Budget projet | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Total |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Indemnités stages étudiants | 400 | 72697 | 39914 | 15420 | 128431 |
| Voyages stagiaires | 0 | 19350 | 6600 | 1200 | 27150 |
| Fonctionnement stages | 700 | 12043 | 12346 | 1150 | 26239 |
| Billets d'avion missions chercheurs | 16600 | 31200 | 12600 | 6300 | 66700 |
| Frais de mission | 19300 | 36400 | 12100 | 11300 | 79100 |
| Fonctionnement | 32130 | 98065 | 71835 | 29900 | 231930 |
| - Salaires + déplacements locaux | 13270 | 69010 | 50300 | 13450 | 146030 |
| - Analyses | 0 | 16000 | 11500 | 7000 | 34500 |
| - Images satellite | 4800 | 350 | 2700 | 2100 | 9950 |
| - Consommables et petit matériel | 10560 | 9205 | 2275 | 1050 | 190480 |
| - Frais réunions + publications | 3500 | 3500 | 5060 | 6300 | 18360 |
| | | | | | |
| Equipement | 35150 | 5300 | 0 | 0 | 40450 |
| | | | | | |
| Total | 104280 | 275055 | 155395 | 65270 | 600000 |

Descriptif des équipements

| Institution | Unité de Recherche (UMR) | Equipement |
|-------------|--------------------------|---|
| IRD | LTHE | 1 station météo |
| | HSM | systèmes de mesures selon des profils humidité 10 Tensiomètres: watermark + thermistance 3 centrales acquisition CAMPBELL 3 Panneaux solaires 50 Wc 4 Régulateurs solaires 10A 4 Batteries 12V / 110 Ah 4 Multiplexeur Campbell 9 Capteurs de flux de sève 50 mm Dynamax 4 Régulateurs chauffage 9 Câbles rallonge capteurs 25 m 3 Armoires coffret |
| | Eco&Sols | 8 dendromètres 1 volt avec système Wifi Capteurs PAR et SPAD |

14.Participants

Liste de participants du Nord

| Institution | UR-UMR | Nom, Prénom |
|-------------|---------------------------------|------------------------|
| CIRAD | UR Systèmes Bananiers Plantains | S. Dépigny |
| | UR Systèmes Bananiers Plantains | Thierry Lescot |
| | UMR AMAP | Hervé Rey |
| | UMR AMAP | Jean Dauzat |
| | UMR ART DEV | Sandrine Fréguin-Gresh |
| | UMR ART DEV | Jean François Le Coq |
| | UR Bioagresseurs | Jacques Avelino |
| | UR Bioagresseurs | Régis Babin |
| | UR Bioagresseurs | Leila Bagny Beilhe |
| | UR Bioagresseurs | Daniel Bieysse |
| | UR Bioagresseurs | Christian Cilas |
| | UR Bioagresseurs | Natacha Motisi |
| | UR Bioagresseurs | Philippe Lachenaud |
| | UR Bioagresseurs | Fabrice Pinard |
| | UR Bioagresseurs | Olivier Sounigo |
| | UR Bioagresseurs | Martijn ten Hoopen |
| | UMR Eco&Sols | Jean-Michel Harmand |
| | UMR Eco&Sols | Christophe Jourdan |
| | UMR Eco&Sols | Guerric le Maire |
| | UMR Eco&Sols | Olivier Rousard |
| | UMR Eco&Sols | Philippe Vaast |
| | UMR Eco&Sols | Karel Van Den Meersche |
| | UMR Innovation | Nicole Sibelet |
| | UMR Innovation | Philippe Pedelahore |
| | UR SCA | Thierry Brévault |
| | UR SCA | Rabah Lahmar |
| | UR SCA | Valérie Soti |
| | UMR System | Clémentine Allinne |
| | UMR SYSTEM | O. Deheuvels |
| | UMR System | Patrick Jagoret |
| | UMR System | Nathalie Lamanda |
| | UMR System | Marie-Ange Ngo-Bieng |
| | UMR System | Bruno Rapidel |
| UMR System | Stéphane Saj | |
| UMR Tetis | Camille Lelong | |

| | | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|
| IRD | UMI Résiliences | Isabelle Droy |
| | UMR AMAP | N Barbier |
| | UMR AMAP | Hubert De Foresta |
| | UMR CEREGE | Pierre Ethienne Mathé |
| | UMR Eco&Sols | Eric Blanchart |
| | UMR Eco&Sols | Marc Pansu |
| | UMR Eco&Sols | Alain Albrecht |
| | UMR Eco&Sols | Tiphaine Chevallier |
| | UMR Eco&Sols | Dominique Masse |
| | UMR Eco&Sols | Lydie Lardy |
| | UMR Eco&Sols | Cathy Clermont-Dauphin |
| | UMR Eco&Sols | Laurent Cournac |
| | UMR Eco&Sols | Frederic Do |
| | UMR GRED | Stéphanie Carrière |
| | UMR GRED | Patrice Levang |
| | UMR HSM | Julie Carreau |
| | UMR HSM | Jérome Demarty |
| | UMR HSM | Bernard Cappelaere |
| | UMR HSM | Christophe Peugeot |
| | UMR HSM | Luc Séguis |
| | UMR HSM | Josiane Seghieri |
| | UMR LTHE | Jean-Martial Cohard |
| | UMR LTHE | Sylvie Galle |
| | UMR IDES-Univ Paris Sud | Laurent Bergonzini |
| UMR LOCEAN | David Williamson | |
| INRA | UR BEF | Bernd Zeller |
| | UMR LisaH | Y. Le Bissonnais |
| Ohio State University | projet NSF/PIRE | R. Dick |
| Montpellier SupAgro | UMR Innovation | Isabelle Michel |
| | UMR System | Jacques Wéry |
| Université de Bordeaux | UMR - ADES | Jean Etienne Bidou |

Liste de participants du Sud

| Pays | Organismes | Nom, Prénom |
|-------------|---|----------------------------|
| Bénin | INRAB | Césaire P Gnganglé |
| Bénin | Direction générale de l'Eau (DG-Eau) | Dr. Arnaud Zannou |
| Bénin | Université Abomey Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques | Pr. Kossi Euloge Agbossou |
| Cameroun | IRAD | Joseph Mouen Bedimo |
| Cameroun | IRAD | Hervé Todem |
| Cameroun | IRAD | Virginie Mfegue |
| Cameroun | IRAD | Nérée Ongué |
| Cameroun | IRAD | Bidzanga Nomo |
| Cameroun | IRAD | Hervé Ngnogué Todem |
| Cameroun | Université de Dschang | Marie-Louise Avana |
| Costa Rica | CATIE | Isabel Gutiérrez |
| Costa Rica | CATIE | Wilbert Phillips Mora |
| Costa Rica | CATIE | Gabriela Soto |
| Costa Rica | CATIE | Eduardo Somarriba |
| Costa Rica | CATIE | Elias de Melo |
| Costa Rica | CINPE | Fernando Saenz |
| Costa Rica | Universidad de Costa Rica, CITA | M. Villatoro, ; |
| Costa Rica | Universidad de Costa Rica, CITA | María del Milagro Granados |
| Kenya | University of Nairobi | Prof. G. Ong'ama |
| Kenya | University of Nairobi | Prof. D. Olago |
| Kenya | CRF Nairobi | J. Kimemia |
| Kenya | ICRAF | E. Barrios |
| Kenya | ICRAF | C. Mathuri |
| Nicaragua | Nitlapan | Francisco Pérez |
| Niger | Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences | Yahaya Nazoumou |
| Niger | Univ. Maradi, ex Université Abdou Moumouni de Niamey | Pr. Mahamane Saadou |
| Niger | Univ. Maradi, ex Université Abdou Moumouni de Niamey | Dr. Ali Mahamane |
| Sénégal | ISRA | Y. Ndour |
| Sénégal | ISRA | NH. Diallo |
| Tanzania | Agronomy office, Rungwe District | Hadda MATUNDA |
| Tanzania | IRA, Univ. Dar es Salaam | B Mwakisunga |

| | | |
|----------|--------------------------|----------------|
| Tanzania | IRA, Univ. Dar es Salaam | S. Kajula |
| Tanzania | IRA, Univ. Dar es Salaam | J. Lyimo |
| Tanzania | IRA, Univ. Dar es Salaam | Prof. A Majule |