

**PROGRAMME FEDERATEUR « AGRICULTURE ET DEVELOPPEMENT DURABLE »
Appel à propositions de recherche 2006**

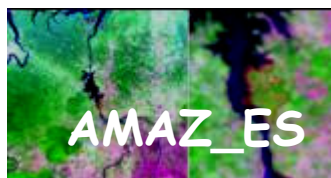
Décembre 2006

1- FICHE D'IDENTITE DU PROJET

Titre du projet

Services écosystémiques des paysages agrosylvopastoraux Amazoniens : Analyse des déterminants socio-économiques et simulation de scénarios

Acronyme



Résumé court

Dans deux régions réunissant l'essentiel de la diversité des systèmes de production amazoniens, ce projet analysera les liens statistiques entre 1. le contexte socio-économique, 2. les modes d'utilisation du sol et la structure paysagère et 3. le niveau des divers services écosystémiques (SE) produits. Des scénarios inspirés du Millennium Ecosystem Assessment évalueront l'impact relatif de mesures favorisant la formation, le soutien économique ou privilégiant certains systèmes de production.

Responsable du projet

Civilité (M, Mme, Mlle)	M	Titre	PROF	Nom	LAVELLE	Prénom	PATRICK
Adresse électronique	Patrick.Lavelle@bondy.ird.fr		Tel	0148025988		Fax	0148473088
Etablissement	Institut de Recherche sur le Développement/Univ. de Paris 6						
Unité (nom complet)	Biodiversité et Fonctionnement du Sol						
Département	Ressources Vivantes						
N° d'unité	UMR 137						
Directeur d'unité	Patrick LAVELLE						
Adresse	32 rue Henri Varagnat						
Code Postal	93143			Ville	BONDY		

Ce projet fait-il partie des projets labellisés (ou en cours de labellisation) par un pôle de compétitivité (ou par plusieurs, en cas de projet interpôle) ?

Oui [] Non [X]

Axe(s) thématique(s)¹ auquel le projet se rattache :

Thématique 1	3.2 Agriculture et ressources naturelles : model. de scenarios
Eventuellement Thématique 2	3.3 Stockage du C et de l'eau et systèmes de production
Eventuellement Thématique 3	3.5 Combinaison des savoirs

Principales disciplines associées au projet :

Discipline 1	Sociologie, Economie
Discipline 2	Agronomie
Discipline 3	Ecologie

Mots clés libres associés au projet (5 maximum)

Français	Environnement socio-économique, productions, services écosystémiques, paysage
Anglais	Socio-economic environment, productions, ecosystem services, landscape

¹ Cf. « Les thématiques de recherche », partie 3 de l'appel 2006

Equipes de recherche participantes (équipe 1 = équipe du responsable du projet) :

Equipe n°	Nom du correspondant principal	Prénom	Titre ou grade + organisme employeur	Discipline	Etablissement	Département de recherche (le cas échéant)	Unité	Nom et Prénom du Directeur de l'unité
1	LAVELLE	Patrick	Professeur Univ. Paris 6	Ecologie	Institut de Recherche sur le Développement	DRV	UMR137 BIOSOL IRD-Univ. Paris 6 et 12	Patrick LAVELLE
2	ARNAUD de SATRTRE	Xavier	CR1 CNRS	Sociologie	CNRS		UMR 5603 Société Environnement Territoire	Jacques LOLIVE
3	GOND	Valery	CR1 CIRAD	Géographie Télédétection	CIRAD		UPR36 Ressources forestières et politiques publiques	Robert NASI
4	TOURRAND	Jean-François	DR2 CIRAD	Agronomie Modélisation	CIRAD		UR GREEN Gestion des ressources renouvelables et de l'environnement	Jean-Pierre MÜLLER
5	LENA	Philippe	DR2 IRD	Géographie	IRD		UR169 PATIS Patrimoines naturels, territoires et identités	Marie-Christine CORMIER SALEM
6	VEIGA	Iran	Professeur Université	Economie	UFPA		UFPA-NEAF Nucleo de Estudios de la Agricultura Familiar	Guttemberg GUERRA
7	ALVES	Livia	Professeur Université	Economie rurale	UFPA		UFPA-LASAT Laboratorio Socio-Agro do Tocantins	Livia ALVES
8	MARTINS	Paulo	Professeur Université	Agronomie, Pédologie	UFRA		Departamento do solos	Paulo MARTINS
9	RONDON	Marco	Investigador Titular CIAT	Pédologie	CIAT/TSBF		Environmental Services Unit	N. SANGUINGA
10	RAMIREZ PAVA	Berta. L.	Professeur Université	Agronomie	Univ. La Amazonia		Fac. Ciencias Agropecuarias	Bertha Leonor RAMIREZ PAVA
12	DOLEDEC	Sylvain	Professeur Université	Statistiques	Université de Lyon I		UMR CNRS 5023	Claude AMOROS

PADD 2006

Autres partenaires² :

Partenaire n°	Nom du correspondant principal	Prénom	Fonction	Organisme	Sigle Organisme	Ville	Pays
1	MUÑOZ	Lisandro	Dirigeant	RED SILVOPASTORIL DE PRODUCTORES	RSP	FLORENCIA CAQUETA	Colombie
2	YOHAR	Lucia	Enseignant	COLEGIO AGROTECNICO DE SANTUARIO-CAQUETA	AGROTECNICO	SANTUARIO CAQUETA	Colombie
3	DONCEL	Raul	Recteur	COLEGIO INSTITUTO AGROECOLOGICO DE FLORENCIA	AGROECOLOGICO	FLORENCIA CAQUETA	Colombie
4	ECHEVERRY	Jesus	Président	ASOCIACIÓN DE HEVEICULTORES DEL CAQUETA	ASOHECA	FLORENCIA CAQUETA	Colombie
5	AMARAL	Paulo Henrique	Directeur	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia	IMAZON	BELEM	Brésil
6	LIMA	Williamson	Coordinateur	ESCOLA FAMÍLIA AGRÍCOLA DE MARABA	EFA	MARABÁ	Brésil
7	WAMBERGUE	Emmanuel	Coordinateur général	COOPERATIVA DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS	COPSERVIÇOS	MARABÁ	Brésil
8	SILVA	Eduardo	Président	Associação de Pequenos Produtores do Projeto de Assentamento Agroextrativista Praia Alta Piranheira	APAEP	NOVA IPIXUNA	Brésil
9	ARAUJO	Francisco	Président	Sindicato dos Trabalhadores Rurais	STR	NOVA IPIXUNA	Brésil

² Bien que n'émargeant pas directement au budget de ce projet, les associations et ONGs mentionnées dans ce tableau seront des partenaires très actifs de la recherche, notamment dans le module « ECHANGE DES SAVOIRS » et MODELES où les financements serviront à développer avec eux une coopération entreprise dans des projets précédents de moindre envergure.

PADD 2006

Durée du projet : 24 mois 36 mois

Nombre de personnes-mois³ mobilisées pour toute la durée du projet : 688 (19,1 ETP)

Chercheurs et enseignants-chercheurs permanents	Post doctorants déjà recrutés	Doctorants déjà recrutés	Ingénieurs et techniciens permanents	Personnes à recruter
494	42	24	56	72 (stagiaires Master)

³ Nombre de personnes x nombre total de mois de travail sur le projet.

2- RESUME DU PROJET

Dans deux régions de l'Amazonie Brésilienne et Colombienne représentant la diversité des paysages anthropisés de l'écorégion, ce projet analysera et modélisera les liens qui unissent 1. les paramètres socio-économiques, 2. la composition et la structure des paysages, 3. les productions agrosylvopastorales, 4. la biodiversité et divers autres biens et services écosystémiques (BSE) utilisés par les populations humaines. La connaissance de ces liens, jamais analysés d'une façon aussi systématique, donnera une base fiable au choix des politiques locales et régionales de gestion durable.

- Un protocole original permettra une collecte de données socioéconomiques, paysagères, agronomiques et écologiques 100% compatibles permettant une analyse statistique rigoureuse et la formulation de nouvelles hypothèses sur les mécanismes reliant ces divers groupes de variables.

- Phase 1 : Dans chaque pays, 150 exploitations appartenant à trois paysages différant par l'histoire de la colonisation et l'usage de la terre seront décrites par un ensemble de variables socio-économiques et paysagères. Le choix de deux pays et 6 fenêtres paysagères ayant des histoires et des contextes différents permettra une exploration riche de la diversité des relations existant entre des variables très rarement analysées conjointement.

- Phase 2 : Après l'établissement d'une typologie sur l'ensemble des 300 exploitations ainsi caractérisées, on choisira les 54 exploitations (9 par fenêtre paysagère) les plus représentatives pour mesurer en détails les productions agrosylvopastorales, les principaux biens et services écosystémiques liés au sol (stockage du C, infiltration et stockage de l'eau, fertilité du sol) et la biodiversité des plantes et de la macrofaune du sol.

- Il sera alors possible d'analyser par la méthode des analyses multitableaux et d'autres méthodes d'analyse multivariée, les relations entre ces divers caractères des exploitations, de repérer les plus significatives et les analyser en recherchant notamment l'existence d'effets de seuil.

- L'ensemble de ces relations et diverses données empiriques proposées par les acteurs locaux sera alors intégré dans un modèle multi agents pour simuler des scénarios de développement durable. On testera les trois hypothèses génériques suivantes :

H1 : Trajectoires individuelles et formation : Il existe une relation entre d'une part, 1. la trajectoire d'un individu, son origine sociale et géographique et la formation qu'il a reçue et, d'autre part, 2. la façon d'utiliser la terre, 3. le paysage et 4. la diversité et la qualité des services écosystémiques produits.

H2 : Investissements et techniques : il existe une relation « en cloche », dans une exploitation ou dans une région, entre le niveau des investissements réalisés (équipement, intrants, innovations technologiques), la composition du paysage et la diversité et la qualité des BSE produits.

H3 : Effets des politiques : les politiques (locales, régionales et nationales) qui stimulent la durabilité et la diversification des activités ont un effet sur le paysage et la diversité et la qualité des BSE

Le détail des hypothèses et le contenu des scénarios seront débattus avec le groupe « Echange des Savoirs » et les responsables des différents WPs.

Le projet se décline ainsi en 6 WP, SOCIOECO qui mesurera et traitera toutes les données socioéconomiques pertinentes, PAYSAGES qui traduira la diversité et la complexité du paysage de chaque exploitation échantillon en variables quantitatives, PRODUCTIONS qui fera le bilan des productions agro-sylvo-pastorales, autres SERVICES qui évaluera les fonctions hydriques, le stockage du C, la fertilité du sol et la biodiversité des plantes et de la macrofaune du sol. Le WP MODELES analysera les relations existant entre ces différents jeux de données par des méthodes multivariées adaptées.

Ces relations une fois vérifiées et formalisées mathématiquement puis complétées par des relations issues des observations des acteurs locaux, seront intégrées dans des modèles multiagent. Des scénarios testeront les 3 hypothèses génériques (H1, H2 et H3) qui auront été précisées au cours d'un travail spécifique avec les exploitants et gestionnaires acteurs locaux du développement local.

Le WP ECHANGE DES SAVOIRS intégrera cette recherche dans le tissu social de chacune des deux régions en favorisant la prise en compte des savoirs scientifiques et locaux dans la mise au point d'indicateurs de services et la conception de scénarios de développement. La recherche-intervention proposée aux exploitants participant à ce projet sera un objet de réflexion commune pour les scientifiques et les gestionnaires, tout en jetant les bases de l'adoption de nouvelles pratiques plus durables.

3- DESCRIPTION DU PROJET

A. Problématique et objectifs scientifiques poursuivis

Dans deux pays d'Amazonie représentant la diversité des systèmes de production de l'écorégion, ce projet analysera et modélisera les liens qui unissent 1. les paramètres socio-économiques, 2. la composition et la structure des paysages et 3. la production agricole et les autres biens et services écosystémiques (BSE) utilisés par les populations humaines.

- La mise au point d'indicateurs, dans une approche participative, donnera aux acteurs locaux les outils nécessaires à l'évaluation et à l'éventuelle commercialisation des BSE.
- Un protocole original permettra une collecte de données socioéconomiques, paysagères et écologiques 100% compatibles permettant une analyse statistique rigoureuse.
- La simulation par la modélisation multi-agent de scénarios inspirés du Millennium Ecosystem Assessment indiquera aux décideurs quelles mesures favoriseraient le plus un usage durable des ressources dans des systèmes de production multifonctionnels.
- L'échange des connaissances se fera dans une démarche proactive associant la mise en commun des savoirs profane et scientifique dans des actions de formation (Farmers Field Schools de la FAO) et de recherche-intervention ciblées localement.

Esprit des recherches

Par une véritable transdisciplinarité et l'association aux travaux de tous les groupes concernés, nous chercherons à éliminer les barrières qui font obstacle à la compréhension de systèmes complexes et à l'application des résultats.

La transdisciplinarité sera encadrée dans un protocole très strict qui amènera chaque spécialiste à produire des jeux de données qui pourront être traités par les mêmes méthodes statistiques et intégrées sans difficulté dans la modélisation. L'unité de temps et de lieu et le respect rigoureux d'un calendrier d'opérations permettront une vraie interdisciplinarité. Un tel cadre, rarement imposé, favorisera le développement d'un questionnement précis dans un domaine où la rigueur des raisonnements scientifiques peine à trouver sa place, en raison de la disparité des approches et des échelles abordées dans les divers champs disciplinaires.

Les Biens et Services Ecosystémiques, objet principal de nos mesures et de nos réflexions, sont un vrai concept interdisciplinaire, créé par les économistes (Daily et al., 1997), mais vite adopté par les sociologues et les écologistes qui ont su l'enrichir de définitions spécifiques et le traduire en objectifs de recherche (Mattison et Norris, 2005). Notre projet sera l'un des premiers à envisager en même temps les trois facettes de ce concept et un objectif secondaire de notre projet sera de faire émerger de nouvelles hypothèses de recherche dans un cadre conceptuel original.

L'intégration des divers partenaires concernés est l'autre défi de ce projet. On proposera des activités spécifiques permettant l'échange des savoirs et le recadrage du mode de pensée et des pratiques des divers acteurs, exploitants, gestionnaires et scientifiques. Nous utiliserons pour cela divers moyens plus ou moins éprouvés : la création d'une base de connaissances commune par l'approche des Farmers Field Schools (FAO), la confrontation de ces savoirs sur des pratiques expérimentales innovantes (recherche-intervention), et la synthèse des travaux dans des scénarios originaux et la réflexion sur les modèles de développement régionaux.

Adéquation aux objectifs de l'ADD

Thématiques

Ce travail contribuera à identifier les leviers socio-économiques favorisant la multifonctionnalité des activités agro-sylvo-pastorales et la fourniture durable d'une gamme étendue de biens et services écosystémiques (1.1). Il mettra en évidence d'éventuels effets de seuils dans les dynamiques de changement (1.2). Il aborde les interactions entre les divers déterminants biophysiques et économiques avec une approche rigoureuse et innovante basée sur l'échange des savoirs, un protocole de collecte des données inédit et l'usage de la recherche-intervention. Parmi les produits de cette recherche, les outils de mesure des services écosystémiques joueront un rôle très important dans le développement de ces régions.

La description des déterminants et des dynamiques des pratiques par l'analyse comparative et la modélisation permettra d'identifier les « points critiques » et les « leviers d'action » (2.1) .

La coexistence de modèles de développement différents (global vs. régional ; proactif vs. réactif) crée des tensions, mais aussi des nouvelles formes de coopération possibles que l'étude de la covariation entre les facteurs socio-économiques et l'état des biens et services mettra en évidence (2.2). On identifiera les

relations significatives entre divers paramètres socioéconomiques, la structure du paysage en types d'usages, et le rendement des divers BSE. Les scénarios que l'on simulera avec ces résultats, permettront « d'établir des passerelles entre les approches descriptives et les catégories pertinentes pour l'action » et de relier les effets locaux aux effets globaux (2.3; 2.4).

La création initiale d'une base de connaissances communes minimale, la constitution de jeux de données sociologiques, économiques et écologiques 100% compatibles et la recherche-intervention sont autant d'éléments qui doivent nous permettre d'intégrer les « trois blocs disjoints : social, éco et environnemental » dans une approche systémique (2.5), favorisant l'émergence de nouveaux concepts et la « réflexivité critique » souhaitée dans le programme ADD (2.6)..

Finalement, le partenariat constitué comprend les divers acteurs de l'agriculture et de la recherche, associations paysannes, ONG, Centres techniques et Universités régionales, Universités et institutions de recherches nationales et internationales (2.7). La collaboration entre ces divers groupes rodée au cours de plusieurs années de travaux antérieurs permettra une recherche de haut niveau, adaptée aux questions locales et directement transposable.

Nos recherches apportent ainsi une contribution originale aux thèmes 3.2, 3.3 et 3.5 ; 3.7 est l'occasion de mettre en œuvre les approches participatives bien adaptées aux deux sites choisis.

B. Etat de l'art et contribution scientifique originale de cette proposition

C'est en Amazonie sur le « front pionnier » que se joue l'avenir de la forêt tropicale, de l'irremplaçable biodiversité qu'elle abrite et des multiples fonctions écologiques et culturelles qu'on lui reconnaît (Arnaud de Sartre, 2006). La forêt qui couvre encore 80% de l'Amazonie disparaît peu à peu sous la pression des exploitants forestiers, des paysans sans terre, des éleveurs en quête de nouveaux pâturages et des cultivateurs de soja poussés par une forte dynamique économique (Laurance et al., 2001 ; Bertrand, 2004 ; Théry, 2002 ; Léna, 2005). Les systèmes de production peinent à assurer leur pérennité et à répondre au désir d'une vie meilleure pour une population en croissance rapide (Fearnside, 2005).

Cette exploitation « minière » des ressources naturelles stigmatisée par les scientifiques (Fearnside et Barbosa, 1998 ; Bierregaard et al., 2001) est aujourd'hui remise en cause fortement par les gouvernements régionaux et nationaux, conscients de la nécessité de ne pas perdre irrémédiablement un capital naturel d'une valeur inestimable. Un effort législatif remarquable et de multiples initiatives visent à promouvoir des systèmes préservant la forêt et ses ressources. Au Brésil, le programme Pro Ambiente lancé par le Ministère de l'Environnement expérimente le paiement des services écosystémiques aux agriculteurs (Portela et Rademacher, 2001); en Colombie, les instituts de recherche et de nombreuses ONG soutenues par des programmes nationaux et internationaux expérimentent des alternatives techniques qui concilient le développement avec la conservation du capital naturel.

Les scénarios globaux du MEA (2006) montrent les effets positifs de telles initiatives sur la conservation des ressources. Ils diffèrent cependant radicalement, suivant que les investissements portent sur la formation des acteurs, le soutien à des systèmes de production durables ou le paiement des BSE.

Les sociétés sont mal préparées au développement durable. Les méthodes de mesure des BSE sont, au mieux, rudimentaires et le mécanisme des nécessaires échanges des savoirs a montré sa faible efficacité . On ignore de plus, très largement, les relations qui existent entre (1) les paramètres socio-économiques - sur lesquels peuvent agir les décideurs (ex. la formation, l'accès au crédit ou le soutien à diverses productions)- (2) la composition et la structure des paysages résultant des choix faits par les exploitants (Béringuier et al.,1999), et (3) le rendement des divers BSE (Mattison et Norris, 2005 ; Dirzo et Loreau, 2005). De ce fait, l'impact des politiques de protection des ressources naturelles et des BSE reste très incertain.

Ce projet propose d'améliorer ces divers aspects par les 6 actions de recherches programmées.

Apport des différentes disciplines au projet et contribution scientifique originale du projet

Quatre disciplines sont associées à ce projet :

- La Sociologie permet l'analyse précise des communautés humaines et des multiples caractéristiques qui déterminent leur comportement et leur usage des ressources naturelles. L'approche sera résolument quantitative, particulièrement dans la phase 1 d'établissement d'une typologie des exploitations. L'explication de certains faits révélés par cette analyse demandera une analyse qualitative approfondie, dans la phase 2.

- L'Economie rurale expliquera le fonctionnement, les points forts et les faiblesses des systèmes de production mis en œuvre. En quantifiant les divers flux (intrants, productions, investissements et gestion financière) elle montrera où se situent les contraintes et les blocages au développement durable.
- L'Ecologie mesurera les diverses fonctions écosystémiques (les « biens et services ») importantes pour les populations humaines et l'entretien des écosystèmes. La démarche quantitative et les méthodes de traitement des données avancées propres à cette discipline seront utilisées dans le traitement de l'ensemble des données du projet.
- Les mathématiques appliquées et la modélisation sont les outils qui garantiront la rigueur dans les protocoles de collecte des données et seront le support de la synthèse des informations contenues dans un jeu de données jamais collecté. Les scénarios de développement qui constituent l'objectif ultime de ce projet seront développés avec les techniques de modélisation les plus récentes.

Réflexivité critique vis-à-vis des concepts, outils et méthodes utilisés

Ce projet organise une confrontation des concepts et des idées rarement permise dans les projets qui sont souvent plus « juxta » que « multi » disciplinaires. Cette situation est permise par la relative rigidité du cadre imposé aux diverses disciplines et la tenue en parallèle d'activités de formation, expérimentation et synthèse conduites avec les divers partenaires du développement. La rigueur des protocoles permettra de remplacer l'interprétation subjective des phénomènes par l'explication basée sur des relations démontrées. L'intuition de la réflexion prospective sera soutenue par une modélisation nourrie de relations et de lois mathématiques établies suivant les règles ordinaires de la rigueur scientifique.

Cette démarche influence nécessairement le champ des interprétations des diverses disciplines et aussi leur façon d'aborder les problèmes. On a déjà vu un effet de ces interactions dans la phase d'élaboration de ce projet : les méthodes et protocoles proposés ne sont pas ceux utilisés dans des études monodisciplinaires. La priorité a été donnée à la capacité des méthodes à répondre aux questions posées à l'échelle envisagée, à la simplicité des mesures, à la réduction du temps et du coût. Le « risque » ainsi pris par les scientifiques en regard des pratiques habituelles de leur discipline amènera chacun à valoriser les résultats obtenus par la confrontation des champs disciplinaires, à tester des hypothèses jamais envisagées et, *in fine*, à formuler des concepts différents. Ceux-ci seront réellement adaptés à ce nouveau champ transdisciplinaire où l'impossible rigueur scientifique était remplacée par des opinions d'expert souvent difficiles à vérifier.

Références bibliographiques

- Arnauld de Sartre, X. 2006, Fronts pionniers d'Amazonie. Les dynamiques paysannes au Brésil. Paris : CNRS Éditions, Collection Espaces et milieux, sous presse.
- Bertrand, J.P. 2004, « L'avancée fulgurante du complexe soja dans le MatoGrosso : facteurs clés et limites prévisibles », Revue Tiers Monde, vol.XLV, n° 179, p. 567-593
- Béringuier, Ph. Dérioz, P. Laques, A-E. 2000, Les paysages français, Coll. "Synthèse" Éd. Armand-Colin, 95p
- Bierregaard, R. O., C. Gascon, T. E. Lovejoy, and R. Mesquita. 2001. Lessons from Amazonia. The Ecology and conservation of a fragmented forest. Yale university Press, New Haven, London.
- Day-Rubenstein, K., M. Stuart, and G. B. Frisvold. 2000. Agricultural land use in tropical countries: Patterns, determinants, and implications for biodiversity loss. Pages 621-650 in World Resource Review, Vol 12, Nos 2-4 - Global Warming Science & Policy, Pts 1-3.
- Dirzo, R., and M. Loreau. 2005. Biodiversity Science evolves. Science 310.
- Fearnside P.M., Barbosa R.L., 1998 - Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management, 108, 147-166.
- Fearnside, P. M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. Conservation Biology 19:680-688.
- Grelle, C. E. V. 2005. Predicting extinction of mammals in the Brazilian Amazon. Oryx 39:347-350.
- Horton, B., G. Colarullo, I. J. Bateman, and C. A. Peres. 2003. Evaluating non-user willingness to pay for a large-scale conservation programme in Amazonia: a UK/Italian contingent valuation study. Environmental Conservation 30:139-146.
- Laurance, W. ; Cochrane, M. ; Gergen, S. ; Fearnside, P. ; Delamonica, P.; Barber, C. ; D'Angelo, S; et Fernandes, T. 2001, « The future of the Brazilian Amazon », Science, 291, 5503, 438-444.
- Léna, Ph. 2005, « Préface », In Albaladejo, Christophe & Arnauld de Sartre, Xavier (Dir.). 2005, L'Amazonie brésilienne et le développement durable. Expériences et enjeux en milieu rural. Paris : L'Harmattan, collection Amérique Latine, 287 p.
- Mathieu, J., J. P. Rossi, P. Mora, P. Lavelle, P. F. D. Martins, C. Rouland, and M. Grimaldi. 2005. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. Conservation Biology 19:1598-1605.
- Martins, M. B. . Guilds of Drosophilids on Forest Fragments. In: R.O.Bierregaard; C. Gascon; T. E. Lovejoy. (Org.). Lessons from Amazonia. The ecology and conservation of a fragmented forest. Yale, 2001, v. , p. -.
- Mattison, H. et Norris, K. 2005. Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity. Trends in Ecology and Evolution, 20, 610-616
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. MAweb.org.
- Portela, R., and I. Rademacher. 2001. A dynamic model of patterns of deforestation and their effect on the ability of the Brazilian Amazonia to provide ecosystem services. Ecological Modelling 143:115-146.

- Shanley, P., and G. R. Gaia. 2002. Equitable ecology: collaborative learning for local benefit in Amazonia. *Agricultural Systems* 73:83-97.

C. Résultats attendus et leur pertinence du point de vue de la contribution de l'agriculture aux objectifs de développement durable

Ce projet génèrera une quantité importante de connaissances de base, dans un format détaillé et géo référencé permettant la création d'un GIS (pas programmé cependant dans ce projet).

Il produira quatre types de résultats d'une grande utilité pour les divers acteurs du développement :

1. des indicateurs des divers biens et services écosystémiques issus de la synthèse des approches scientifique et empirique. Le module ECHANGE DES SAVOIRS aura un rôle très important dans cette synthèse (WP4) ; ces indicateurs sont des outils très puissants permettant de passer à 2 :
2. la connaissance précise des relations (ou absences de relations) entre les trois univers socio-économique, paysage et fonctions écosystémiques dans les régions étudiées, représentatives d'une grande partie de l'Amazonie (WP5) ; d'éventuels effets de seuil seront recherchés
3. une identification des stratégies individuelles et des politiques possibles se basant sur les scénarios simulés (WP5) ;
4. la formation d'un groupe de partenaires locaux à l'utilisation et à l'évaluation des méthodes durables par les indicateurs mis au point en commun (WP6).

- Pertinence des résultats attendus du point de vue du développement durable

Ce projet doit permettre aux décideurs de mieux prévoir les conséquences de diverses options sur la production agricole et la dynamique des ressources naturelles dans le paysage agricole. Il permettra aussi aux exploitants d'acquérir une meilleure conscience de la multifonctionnalité de l'espace agricole et de diversifier ainsi leurs modes de production et leurs revenus tout en préservant leur capital naturel. La transition vers un système économique valorisant tous les BSE sera ainsi favorisée.

La prise en compte organisée du savoir local aidera à poser des questions importantes et tester des hypothèses réalistes. La diversité des partenaires du secteur associatif ou gestionnaire (tableau p.4) réunis dans les deux sites est un atout précieux.

D. Description du projet : étapes, méthodologie, outils, données, terrains...

Les étapes du projet : Six Work Packages qui s'enchaînent dans le temps, suivant un calendrier très précis ; dans des sites d'échantillonnage très précisément indiqués ; les coordinateurs (de site et de WP) contrôleront la qualité et le timing de la réalisation des diverses activités.

Etape 1 : Typologie des exploitations (300 exploitations échantillons)

WP1 : SOCEC : cette action, menée par les sociologues, les économistes et les agronomes, mesura les paramètres socioéconomiques nécessaires pour établir une typologie des 300 exploitations échantillons,
WP2 : PAYSAGE : les géographes spécialistes de télédétection et les écologues compétents dans l'analyse des patrons paysagers uniront leurs efforts pour réaliser une analyse quantitative de la composition et de la structure des fenêtres paysagères qui débouchera sur une typologie des types d'exploitations réalisée en commun avec les résultats de WP1.

Etape 2 : Mesure des services dans 54 exploitations représentatives des types identifiés en phase 1

WP3 : PRODUCTIONS : analyse des systèmes et mesure des productions de biens consommables
WP4 : autres SERVICES : quantification des services du sol (stockage du C, fertilité chimique, infiltration et stockage de l'eau), biodiversité (plantes, macro-invertébrés du sol) avec des indicateurs nouveaux de performance conçus dans une démarche participative;

Etape 3 : Analyse des relations entre les jeux de données WP1, 2, 3 et 4 et modélisation de scénarios

WP5 : MODELES : identification des lois statistiques qui relient 1. le contexte socioéconomique, à 2. la composition et à la structure du paysage et 3. à la performance des divers services et la modélisation de scénarios simulant divers types d'interventions publiques

Echange des savoirs et appropriation des outils méthodologiques

WP6 : ECHANGE DES SAVOIRS : mise au point des indicateurs proposés dans WP4 avec les acteurs impliqués dans la gestion des services par la création d'une base commune de savoirs (Farmers Field Schools de la FAO) , l'expérimentation participative et la participation à l'élaboration des scénarios.

Il y aura un coordonnateur pour chaque pays et pour chaque action (v. tableau)

Des sites avec des contextes socio-économiques divers

Ce projet sera réalisé dans régions appartenant à deux pays différents : au Brésil, dans le sud de l'état du Pará (région de Marabá) et en Colombie dans le piedmont amazonien (Florença, Caquetá). Le choix de ces deux régions se justifie par des considérations stratégiques et opérationnelles :

Stratégiques : le consortium Amazon Initiative, vaste ensemble d'institutions et d'associations dont nous nous réclamons, cherche à développer des actions de recherche et de développement à l'échelle de toute l'Amazonie. La réunion dans notre projet de deux groupes très fortement investis localement, à l'échelle de leur région, va dans ce sens, permettant un élargissement des problématiques et un enrichissement mutuel des divers acteurs de la recherche et du développement.

Les deux groupes de partenaires au Brésil et en Colombie, qui ont de très forts liens et un passé de recherche fécond avec les équipes françaises, auront l'occasion de collaborer et d'échanger des experts.

Ce projet s'appuie sur dix ans de coopération entre des partenaires très expérimentés et divers : les associations d'agriculteurs, ONGs, les Universités régionales (LASAT et Univ. De la Amazonia) et nationales (UFPA, Un. de Pereira), et centres de recherche internationaux (CIAT, IRD et CIRAD).

Au Brésil : le site, étudié depuis 8 ans par l'UMR 137-IRD et les Universités Brésiliennes, a bénéficié du soutien du CNRS (Zone Atelier), de l'IFB (2 projets), de l'ACI-ECCO, de l'ACI « Société et cultures dans le développement durable » et du MEDD- Politiques territoriales et développement durable. Le LASAT et le NEAF sont engagés dans de nombreux projets régionaux et nationaux de développement.

En Colombie les sites sont concernés par les projets « Research Network for the evaluation of carbon sequestration » (CIAT, CATIE, CIPAV, Un. Wageningen; Univ. De la Amazonia) et Red silvopastoril de productores en tres municipios de piedemonte amazonico Colombiano.

Opérationnelles : Il est important de mener nos recherches dans deux régions qui diffèrent largement par le contexte socioéconomique, alors que les conditions biophysiques y sont très comparables. C'est une occasion unique de déterminer l'effet des politiques nationales et régionales sur les fonctions écosystémiques, les écosystèmes d'origine étant très comparables.

Les conditions biophysiques de ces deux régions sont en effet très proches, mais pas les dynamiques socioéconomiques : au Brésil, une politique récente (20 ans) de colonisation volontaire a amené sur place de nombreux exploitants, tandis qu'en Colombie, c'est l'accroissement de la densité d'une population installée depuis près d'un siècle, qui exerce la pression sur la forêt. Les politiques actuelles, nationales et régionales, de développement sont également différentes. L'ensemble des sites choisis permettra de caractériser quelque 300 exploitations représentant l'essentiel de la diversité amazonienne en termes de trajectoires personnelles, niveau économique et types de formation des exploitants, situations foncières, systèmes de production et taille des exploitations, infrastructures régionales et impact des programmes nationaux ou locaux (ONGs) d'amélioration des pratiques.

Les 3 fenêtres paysagères du Brésil, dans un rayon de 100Km autour de la ville de Marabá (état du Pará), présentent des niveaux de déforestation variant de 30 à 90%, une grande diversité dans l'histoire de l'occupation, la taille des exploitations et les systèmes de production. Les projets de développement régionaux ou fédéraux ont une emprise très diverse sur les sites. La coordination avec les ONG IPAM et IMAZON, très actives dans la région, assurera l'intégration de nos activités dans le contexte régional et un transfert optimal des résultats vers les programmes régionaux et nationaux (par ex. PRO AMBIENTE).

En Colombie, dans les trois fenêtres paysagères localisées dans un rayon de 50Km autour de la ville de Florença (Caquetá), les populations sont d'origines diverses. Les exploitations, de tailles très variables, sont dominées par l'élevage sur des pâturages dégradés. Sous l'impulsion de programmes de développement, nationaux ou locaux, des systèmes agroforestiers très divers ont été installés sur une partie de ce territoire. Ici aussi, notre lien avec le programme national « Plan de modernización de la ganadería bovina Colombiana 2005-2021 et les ONG régionales est très actif.

Un protocole d'échantillonnage très strict

Un protocole d'échantillonnage original permettra, pour la première fois, la constitution de jeux de données 100 % compatibles, permettant l'analyse statistique rigoureuse (co-inerties et analyses multitableaux) des liens entre les groupes de données collectées dans les actions 1 à 4.

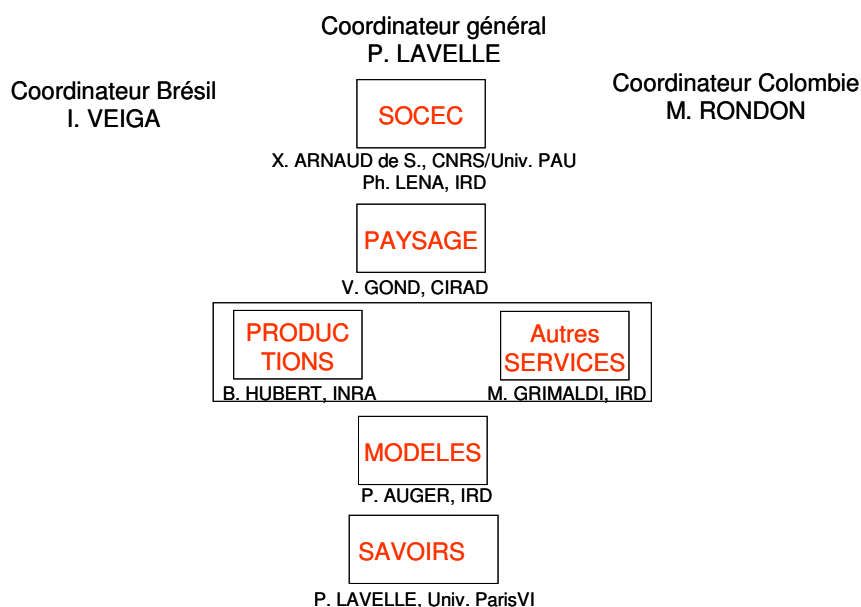
- **Phase 1 : 300 exploitations** : Dans 3 fenêtres paysagères par pays, groupant 50 exploitations si possible séparées en 3 réplicats, on quantifiera pour chacune: 1. un ensemble de paramètres socio-économiques et 2. les métriques paysagères (FRAGSTATS) issues de l'analyse des cartes des exploitations en types d'usage de la terre. On établira une typologie à partir de ces données.
- **Phase 2 : 54 exploitations** : Dans 54 exploitations représentatives des types reconnus (3 dans chaque réplicat de chaque fenêtre paysagère), on mesurera les productions agro-sylvo-pastorales (WP3) et les

autres services écosystémiques (WP4) en appliquant en 5 à 10 points régulièrement répartis des indicateurs soigneusement choisis.

Méthodologies

Des méthodes adaptées à la mesure des nombreuses variables à l'échelle du paysage ont été soigneusement sélectionnées. Elles sont détaillées dans l'exposé de chacun des WP

WP0 : COORDINATION



Le projet est géré par un comité de projet composé du coordinateur général, de deux coordinateurs de pays, des coordinateurs de sites et des coordinateurs des 6 WP.

Coordination générale : P. Lavelle consacrerait tout son temps à ce projet ; il demanderait un détachement à l'IRD et l'expatriation dans l'un des deux pays hôtes pour suivre les opérations au jour le jour. Son expérience dans la conduite, d'une vingtaine de projets nationaux et internationaux, parfois de grande taille (2 projets STD, BIOASSESS 5è PCRD ; MACROFAUNA/IBOY-Diversitas ; coordination d'un chapitre du Millennium Ecosystem Assessment) et la coopération scientifique étroite établie dans les dernières années avec tous les partenaires réunis lui permettraient de mener à bien cette tâche.

Coordination de pays : Marco Rondon (Colombie) et Iran Veiga (Brésil). Ces personnalités reconnues dans leur pays ont montré dans les étapes de la construction de ce projet leur efficacité à coordonner les efforts de tous. Ils sont les garants des divers aspects de la gestion du projet dans leur pays.

Coordination de sites : Livia Alves (Brésil) et Bertha Ramirez (Colombie) sont chargées d'organiser l'accès aux sites (contacts avec les propriétaires et les autorités locales), des relations avec les associations locales et de coordonner les activités de terrain, avec les responsables des différents WP.

Coordination des différents WP : Chaque WP a un ou deux coordinateurs et/ou des référents (personnalités agissant en tant que personnes-ressources pour conseiller et participer ponctuellement suivant les besoins) qui ont la responsabilité de la conduite scientifique et du respect du timing des opérations

L'ensemble des coordinateurs et référents se réunissent une fois par an pour organiser la gouvernance du projet ; ces séminaires se superposent aux réunions de travail annuelles du projet.

WP1 : SOCIOECO

Objectifs : 1. Caractériser et classer en groupes les 300 exploitations constituant les territoires étudiés par un ensemble de 40 variables socio-démographiques décrivant les antécédents familiaux (7), les migrations (6), la vie familiale (10) les emplois (7) et la santé (1) (toutes ces variables, à l'exception des premières, sont récoltées pour chaque année de vie) et 29 grandes variables économiques décrivant l'aire exploitée (3), les divers usages de la terre (6) et leur allocation aux productions végétales, animales, forestières et extractivistes (8), la main d'œuvre (6), les intrants (3), l'équipement et les infrastructures (5) et l'accès au crédit (2) et les autres formes de revenus y compris les subventions (4).

2. Interpréter les relations observées avec les autres types de données (WP3, 4) dans les 54 exploitations échantillons à l'aide d'entretiens semi-directifs (questionnaires qualitatifs complémentaires).

Responsables : Xavier Arnaud de Sartre (typologie des 300 exploitations) et Philippe Lena (questionnaires complémentaires sur les 54 exploitations)

Équipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

UMR 5063 CNRS) : X. Arnaud de Sartre (18 ETP), M. Droulers (9), A. Banos (9), H. Guetat (9), P. Sébille (9), G. Marchant (12) et S. Nasuti (12)

UR169 IRD) : Ph. Lena (9)

UFPA-NEAF) : I. Veiga (12), G. Guerra (12), J A Herrera (3)

UFPA-LASAT) : F. Michelotti (12) indicateurs socio-économiques

Univ. Amazonia): B. Ramirez (12), J. Velasquez R. (9), J.E. Gomes M (9)

Tâches et calendrier d'exécution

Année 1, mois 3-6 : collecte des données Socio-Eco sur le terrain ;

mois 6-10 : mise en forme et traitement des données ;

Année 2-3, mois 23-26 : enquêtes pour interpréter les relations avec variables des WP 2, 3 et 4

Méthodes

- phase 1 : questionnaire sociologique basé sur la méthode de démographie rétrospective⁴ ; questionnaire économique standard fermé utilisé sur les sites Brésiliens.

- phase 2 : entretiens semi-directifs (histoires de vie et récits d'expériences)

- stockage des données ; réalisations de traitements ; mise en place d'indicateurs synthétiques.

Résultats attendus

Caractérisation socio-économique de toutes les exploitations avec des variables quantitatives, multiquantitatives ou binaires ; mise en place d'une typologie des familles d'agriculteurs et analyses de covariance visant à identifier les principales variables distinctives des agriculteurs.

Produits WP1

Classification des exploitations en divers types homogènes ; identification des déterminants ; Données pour le WP5

WP2 : PAYSAGE

Objectifs : Réaliser la cartographie paysagère des sites d'étude (Maraba et Florentia) ; caractériser chaque exploitation échantillon (300) par des métriques spatiales quantitatives issues de FRAGSTATS.

Responsable : Valery Gond (CIRAD-UPR36)

Équipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

• CIRAD-UPR36 (et experts associés): V. Gond (9ETP), A.E. Laques (9), M. Thales (9), J. Oswald, (6) J.F. Faure (3)

• UMR137-IRD : F. Dubs (12)

Tâches et calendrier d'exécution

Année 1 : mois 2-3 : Constitution des plans cadastraux (déjà disponibles en grande partie) ; choix des fenêtres et localisation sur les plans ; reconstitution de l'histoire de l'évolution du paysage (archives Lansadt ; données SPOT) ;

Mois 3-6 : Classification des usages du sol à partir des images satellitaires (analyse spectrale) et des observations de terrain pour les deux régions et les 6 fenêtres.

Mois 6-9 : Cartographie des fenêtres par l'analyse spectrale des fenêtres et vérifications de terrain

Mois 9-12 : Analyses spatiales quantitatives (métrique du paysage). Des analyses du patron du paysage à différentes échelles (fenêtre d'étude, exploitation) seront faites en combinant les outils spatiaux d'ArcView (SIG) et FRAGSTATS pour obtenir une série de variables quantitatives décrivant la composition et la structure des exploitations et du paysage de chaque fenêtre.

Année 2 : Mois 15-18 : calcul des indices de productivité végétale comme contribution au WP3 PRODUCTIONS

Méthodes

^{4 4} Cette méthode a en particulier été développée à l'INED. Voir : COURGEAU, Daniel ; LELIEVRE, Éva. 1996, « Changement de paradigme en démographie ». *Population*, 51, 3, p. 645-654.

- La définition des types d'utilisation combine l'analyse spectrale et les observations de terrain (Gond et al, 1992 ; Mayaux et al, 2000).
- La cartographie est basée sur une première analyse spectrale des images SPOT de résolution 10m ou 2,5m afin de caractériser l'état actuel de chaque classe d'utilisation du sol dans chaque groupe de ferme d'une fenêtre d'observation (Gond et al, 2003 ; Laques, 2003) pour en définir les types paysagers (Beringuier et al. 2000).
- L'analyse spatiale quantitative calculera les métriques fournies par le logiciel FRAGSTATS (McGarigal et Marks, 1995) sur les éléments de la carte considérés, à différentes échelles (exploitations, fenêtres paysagères). Une analyse multivariée des données permettra de sélectionner un petit nombre (une vingtaine) de ces métriques sur la base de leur pouvoir de discrimination entre les paysages, et de leur simplicité.
- Le calcul des indices de production végétale consiste en une combinaison des longueurs d'onde. Ces calculs créent des néo-canaux complémentaires aux données spectrales de base. L'indice de végétation classique (le NDVI - Normalized Difference Vegetation Index ; Rouse et al., 1974) sera étudié afin de mesurer l'activité chlorophyllienne de chaque classe d'utilisation du sol. L'indice de contenu en eau de la végétation (le NDWI - Normalized Difference Water Index ; Gao, 1996) permettra de mieux estimer la qualité du couvert végétal de chaque classe d'utilisation du sol. Ces paramètres physiques aideront à mieux définir et quantifier la production végétale dans les exploitations.

Résultats attendus

La cartographie détaillée des exploitations en types d'utilisation communs aux diverses fenêtres permettra leur traduction en variables quantitatives.

Produits WP2

Cartes de la composition des exploitations en types d'utilisation. Métriques paysagères identiques pour les 300 exploitations.

Données pour sélectionner les 54 exploitations où seront mesurés la production et les BSE.

Indice de production végétale sur les 54 exploitations échantillons (phase 2).

Données pour WP5

WP 3 : PRODUCTIONS

Objectifs : faire le bilan des diverses productions agro-sylvo-pastorales dans chacune des exploitations

Responsable : Iran Veiga (UFPA-NEAF) ; référant Bernard Hubert (INRA-Avignon)

Equipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

- UFPA-NEAF (Brésil) : I. Veiga (12 ETP), L. Ferreira (9) ; systèmes de production ; C. Rocha (9) ; productions végétales, S. Abreu (9); productions animales (9)
- UFPA-LASAT (Brésil) : H. de Souza (9 ETP), productions végétales, surtout extractivistes ; L. N. Alves (12 ETP), Productions animales ; X (étudiant de mestrado) (18)
- Univ. La Amazonia (Colombie) : J.E. Velasquez R. (9) et J.E. Gomez (9) indicateurs des productions agro-sylvo-pastorales; systèmes de production ; X (étudiant de mestrado) (18).

Tâches et calendrier d'exécution

- Année 1 : mois 3-10 : collaboration avec le WP1 pour la définition des systèmes de production (partie économique de l'enquête WP1 et traitement des données)
- Année 2 : mois 13-17 : enquête dans les 54 exploitations échantillons (2è phase)
- Année 2 : mois 17-20 : stockage et traitement des données

Méthodes

Ce WP concerne les 54 exploitations échantillons qui auront été sélectionnées à l'issue de la première phase. Des questionnaires ouverts et fermés seront menés à bien, en coordination avec le WP1 pour caractériser les systèmes de production. et mesurer l'ensemble des biens de consommations produits et exportés ou consommés dans chaque exploitation.

Résultats attendus

Données détaillées sur toutes les productions réalisées par les pratiques agro-sylvo-pastorales et les produits de l'extractivisme pour chaque exploitation de l'échantillon de 54.

L'analyse de ces données combinées à celles de l'enquête socio-économique montrera entre autres choses quels sont les systèmes les plus productifs, les plus rentables (au moins à court terme).

Caractérisation plus précise des systèmes de production avec notamment une enquête poussée sur les intrants et la main d'œuvre.

Produits WP3

Données détaillées sur la nature, la quantité et la valeur des ressources prélevées sur l'exploitation (extractivisme ; foresterie) ou produites par l'agriculture ou l'élevage

Exploration des mécanismes reliant les paramètres socio-économiques à la production

Données pour le WP5

WP4 : AUTRES SERVICES : Biodiversité, Stockage du C, Services hydriques et Qualité du sol

Objectifs : Mesurer l'effet des pratiques de gestion sur la biodiversité et les principaux services rendus par le sol et la végétation

Responsable : Michel Grimaldi (UMR 137 BIOSOL)

Equipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

- UMR 137 IRD ; J. Mathieu (9ETP), P. Lavelle (32 ETP) Macrofaune du sol ; D. Mitja (12 ETP) Plantes ; E. Velasquez (12 ETP) Qualité du sol ; M. Grimaldi (18 ETP) Services hydriques ; T. Desjardins (12 ETP) Stockage du C ; S. Barot (12 ETP), Plantes ; M. Sarrazin (18 ETP) Services hydriques ; qualité du sol
- CIAT-TSBF : M. Rondon (9 ETP) Stockage du C ; E. Amezquita (6 ETP) Qualité du sol et services hydriques ; M P Hurtado (30 ETP) Qualité du sol ; A. Feijoo (9 ETP) Macrofaune du sol ; J TUPAC (9 ETP) Diversité des plantes
- Univ. La Amazonia : J C Suarez S. (6 ETP) Stockage du C ; E R Castañeda (6 ETP) Qualité du sol; W Y Bahamon (6 ETP) Qualité du sol
- UFRA-Belem : P Martins (6 ETP) Services hydriques ; M. Silva (9 ETP) Qualité du sol ; I. Miranda (9 ETP) Plantes ; X étudiant Mestrado (24 ETP) Plantes

Taches et calendrier d'exécution

La mesure des divers services considérés ici sera faite avec des méthodologie spécifiques, toutes déjà pratiquées par les divers participants dans des projets antérieurs menés dans les mêmes régions.

- Années 1 & 2 : mois 10-18 : quantifier les divers services considérés dans chacune des 54 exploitations-échantillons, en les mesurant sur 5 à 10 points régulièrement espacés sur une grille. Le nombre et la disposition de ces points dépendront principalement de la taille des exploitations et de la diversité des types d'utilisation. Toutes les mesures se feront dans les mêmes points.
- Année 2 : mois 18-21 : identification taxonomiques ; mesures du stockage de C, mesures morphologiques, analyses physico-chimique et matière organique, analyses morphologiques ; constitution des tableaux de données pour WP5
- Année 3, mois 24 -27: mesures spécifiques et calibration des indicateurs

Méthodes

Biodiversité des plantes : on utilisera la méthode du « tour de champ » (Chicouène, 2000⁵) déclinée en de nombreuses variantes telle la méthode RAPD développée par Conservation International ; www.conservation.org. Les plantes sont récoltées durant deux heures, divisées en 8 blocs de 15 mn puis identifiées par une équipe d'experts scientifiques et indigènes. On obtient ainsi un indicateur de la diversité des plantes, la composition des peuplements en groupes fonctionnels et la fréquence relative des espèces. Les nombreux travaux réalisés dans certains des sites avec des méthodes exhaustives faciliteront les identifications et permettront de calibrer la méthode retenue.

Biodiversité de la macrofaune du sol : les invertébrés du sol visibles à l'œil nu seront échantillonnés par la méthode standard TSBF déjà appliquée dans la fenêtre 1 du Brésil et sur divers sites Colombiens (Mathieu et al, 2005). Les travaux menés par l'UMR 137 dans le projet européen BIOASSESS montrent qu'un monolithe de 25x25x30cm trié manuellement dans chacun des 5-10 points échantillons par exploitation donnera des informations suffisantes pour évaluer ce groupe (Watt et al., 2003). L'identification des quelques 400 espèces attendues dans chaque pays sera fait à l'espèce ou morpho espèce. La séparation en groupes fonctionnels donnera de précieuses indications sur l'impact fonctionnel de ces organismes ingénieurs du sol (vers, termites, fourmis).

⁵ Chicouène, 2000. - Evaluation du peuplement de mauvaises herbes en végétation. II. Protocoles rapides pour un usage courant. *Phytoma - La Défense des Végétaux* 524 : 18-23.

Stockage du carbone : le C sera évalué, avec des méthodes adoptées au plan international et pratiquées par les experts du projet. Cinq compartiments seront inventoriés et leurs stocks additionnés :

- *La biomasse végétale* (récolte des herbacées sur 6 quadrats de 1m² en chaque point échantillon + méthodes allométriques pour les arbres)
- *La biomasse racinaire* des herbacées de section rectangulaire (1 m x 0,1 m x 0,3m) sera échantillonnée jusqu'à 0,3 m de profondeur à l'aide d'une tarière à racines Elle sera extraite par l'élutration hydropneumatique automatique, méthode rapide et fidèle, sur tamis de 1 mm. Le sol sera tamisé à l'eau (maille de 1mm) et les racines séparées sur ce tamis. Celle des arbres est obtenue utilisant des facteurs de conversion à partir de la mesure de la biomasse aérienne (Brown et al, 2002), et/ou la méthode de ramification fractale (Hairiah et al., 2001)
- *La litière* collectée sur les quadrats utilisés pour la biomasse herbacée et sur des quadrats identiques sous végétation arborée.
- *Le bois mort* évalué selon la méthode proposée par Hairiah et al. (2001) : sur un transect de 5*40 m le volume des débris d'au moins 5 cm de diamètre et 0.5 m de long sera mesuré (longueur et circonférence) et 5 échantillons prélevés à la tarière ou cylindre pour détermination de l'infradensité moyenne du bois mort
- *Le C du sol* dosé sur des échantillons composites prélevés dans quatre tranchées de 0.5 x 0.5 x 0.5 m par point, de 10 en 10 jusqu'à 30 cm et corrigé des variations de la densité apparente (Ellert et al, 2002).

Services hydriques

Deux principaux services écosystémiques liés au fonctionnement hydrique des sols seront évalués :

- Le partage infiltration/ruissellement de la pluie (ou de l'eau d'irrigation) à la surface du sol
- Le stockage de l'eau dans le sol et sa biodisponibilité (réserve utile)

Les caractéristiques hydriques des sols étant difficiles à mesurer, nous utiliserons une démarche indirecte et progressive, similaire à celle proposée par Cresswell et al. (2006). Trois niveaux de caractérisation seront considérés, permettant la calibration des indicateurs mesurés dans tous les points:

- Un niveau 'léger' : une mesure de la densité apparente du sol (0-5 cm), un test simplifié d'infiltrabilité, le pourcentage de recouvrement de la végétation, et une description simplifiée du profil de sol à partir d'un sondage à la tarière en chacun des 5 à 10 points échantillons des 54 exploitations échantillons ;
- Un niveau 'intermédiaire', (description morphologique de chaque horizon de sol, test d'infiltration beerkan, mesure au laboratoire de la rétention en eau à pF 2 et 4.2 sur cylindres de sol) pour caractériser les propriétés hydriques des principaux horizons de sol fonctionnels, dans un nombre limité de points par fenêtre (environ 3, soit 18 points au total)
- Un niveau 'détaillé', dont l'objectif sera de valider la méthodologie mise en place, et qui impliquera le suivi hydrique détaillé de quelques sites (2 ou 4 par pays), si les ressources du projet le permettent

Ces indicateurs 'synthétiques' serviront d'entrées à un modèle de transfert eau sol-végétation-atmosphère (SVAT) qui permettra d'intégrer le climat et la végétation dans l'évaluation des services hydriques des sols. De tels indicateurs, comme par exemple la quantité moyenne annuelle d'eau ruisselée à la surface du sol, permettront de mieux rendre compte des services hydriques effectifs du sol.

Fertilité et « qualité » du sol

L'Indicateur Général de la Qualité des Sols de Velasquez (2004) sera mesuré dans les points échantillons des 54 exploitations sélectionnées. Mis au point sur des agrosystèmes colombiens et testé sur la fenêtre 1 du Brésil (Velasquez et al, en prep.) IGQS combine un ensemble de 60 variables décrivant toutes les conditions du sol en 5 sous indicateurs physique, chimique, morphologique, matière organique et biodiversité (de la macrofaune) qui décrivent l'état du sol et divers aspects de sa « fertilité » :

En chaque point, on mesurera sur un échantillon composite prélevé entre 0 et 10 cm de profondeur les variables physiques, chimiques et la dynamique de la matière organique suivantes :

- Physique : Densité apparente, capacité de rétention en eau, pénétrométrie, torcométrie, densité réelle, humidité, texture
- Chimie : Phosphore assimilable, K+, Ca++, Mg++, CEC, pH, P total,
- Matière organique : C, N totaux, NH₄⁺ NO₃⁻ Respirométrie 4, 7, 14 et 21 jours ; MO légère ; spectre NIRS.
- Morphologie (méthode Ponge modifiée par velasquez et al., ss presse) (Agrégats minéraux (trois classes de taille) ; Agrégats organo-minéraux (3 classes de taille), agrégats racinaires « 3 classes), feuilles,, bois, racines, graines, cailloux etc).

Certaines de ces mesures sont communes à la mesure des autres indicateurs du sol.

L'équation qui calcule chaque sous indicateur, en fonction du poids relatif de chacune des variables utilisées détermine des notes de 0 à 1 suivant la valeur des variables le composant.

Résultats attendus

Les diverses méthodes appliquées constituent un ensemble d'indicateurs des services écosystémiques encore jamais appliqués conjointement. Ce projet aidera à les affiner en les simplifiant et en les calibrant vis-à-vis de mesures plus précises mais trop coûteuses à utiliser. On suivra avec particulièrement d'intérêt les efforts en vue de simplifier la mesure du stockage du C. Le travail avec les communautés locales (WP6) permettra leur examen critique et la recherche d'éventuels substituts issus du savoir traditionnel local.

Produits WP4

- Mise au point d'une batterie d'indicateurs de services utilisables conjointement
- Matrice de données sur la biodiversité (plantes et macrofaune du sol), le stockage du C dans le biomasse, la nécromasse et le sol, les services hydriques (infiltration, ruissellement, stockage, eau utile), les indicateurs de la qualité du sol (physique, chimique, morphologique, matière organique et faune du sol) combinés en un indicateur unique

WP5 : MODÈLES

Objectifs :

1. Mettre en évidence et décrire les relations statistiques significatives entre les données des WP1, 2, 3 et 4
2. Rechercher des effets de seuil dans ces relations ;
3. Tester des hypothèses et simuler des scénarios avec un modèle multi agents constitué de ces relations et des relations empiriques et des savoirs formulés dans le WP6

Responsables : S. Doledec (UMR 5023 CNRS) Traitements statistiques ; J F Tourrand (CIRAD- UR GREEN) : Modélisation multi agents ; référant ; P. Auger (UR IRD Geodes)

Equipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

- CNRS UMR 5023, S. Doledec (12) Traitements statistiques, ajustements mathématiques
- CIRAD-UR GREEN, J F Tourrand (6), P. Bommel (9) , D. Sayago (6), T. Barbosa (6), V. Park (8) et(L. Duarte (6). Modèle multi agents au Brésil et en Colombie
- IRD UR GEODES, P. Auger (6) référant
- UFPA-LASAT F. Michelotti (6) modèle multi agents
- Univ La Amazonia, X. Etudiant de Master (9) modèle multi agents

Tâches et calendrier d'exécution

Traitement des données

- Année 1, mois 1 : coordination générale du format et des méthodes de stockage des données ;
- Année 1, mois 9-12 traitement des données (phase 1) ; typologie et choix des 54 exploitations (phase 2).
- Année 2, mois 18-24 traitement données (phase 2) ; formulation des relations entre données des WP1-4

Modélisation

- Année 2, mois 14 : atelier 1 : réflexion sur les hypothèses, construction des diagrammes UML
- Année 2, mois 15 à année 3 mois 26 : construction des modèles
- Année 3, mois 26 : atelier 2 : implémentation des modèles
- Année 3, mois 32 : atelier 3 : validation des modèles et scénarios

Méthodes

Analyses statistiques :

L'analyse des quatre tableaux de données (socioéconomique, paysage, productions et BSE) montrera les relations existant entre diverses variables ou groupes de variables d'un type avec celles d'un autre type. On décrira alors les lois statistiques reliant des variables à co-variations significatives. La richesse des situations explorées devrait fournir assez de points pour connaître la forme de ces relations et identifier d'éventuel effets de seuils. Les méthodes d'analyse multivariées (co-inertie et analyses multitableaux) permettent de résoudre ces questions (Doledec et Chessel, 1994 ; Chessel et Hanafi, 1996).

La structuration hiérarchique du protocole d'échantillonnage supposera des approches de type ordination sous contraintes (Yoccoz & Chessel, 1988; Lebreton et al. 1991) permettant de prendre en compte les effets sous-jacents au protocole d'échantillonnage (pays, paysage, type d'exploitation).

Dans son principe de base, l'analyse de concordance recherche des combinaisons de variables dans chaque tableau environnemental les plus cohérentes simultanément et les plus covariantes avec le tableau décrivant par exemple la biodiversité. L'analyse de concordance optimise une covariance et permet donc de statuer sur la corrélation entre le tableau des données socio-économiques associé à chaque système de production, le paysage créé et les mesures de production, de rendement des divers services mesurés et de

la biodiversité. Cette approche permettra donc d'identifier simultanément la pertinence des variables susceptible d'avoir un effet sur les services écosystémiques et le niveau d'organisation (pays, paysage, type d'exploitation) auquel cet effet est le plus marqué (Townsend et al. 2003).

Ces analyses seront faites par différents logiciels tel que ADE-4 (Thioulouse et al. 1997) transporté sur le logiciel freeware R (Ihaka & Gentleman 1996) ainsi que la routine *concor* développée sous R par R. Lafosse.

Modèles multi agents

Dans une deuxième étape, on combinera les lois mathématiques issues des analyses statistiques et les relations empiriques établies au cours des travaux du groupe « Echange des savoirs » (WP6) dans des modèles multi-agents pour la simulation de scénarios.

Les scénarios se relieront à trois hypothèses génériques :

H1 : Trajectoires individuelles et formation : Il existe une relation entre d'une part, 1. la trajectoire d'un individu, son origine sociale et géographique et la formation qu'il a reçue et, d'autre part, 2. la façon d'utiliser la terre, 3. le paysage et 4. la diversité et la qualité des services écosystémiques produits.

H2 : Investissements et techniques : il existe une relation « en cloche », dans une exploitation ou dans une région, entre le niveau des investissements réalisés (équipement, intrants, innovations technologiques), la composition du paysage et la diversité et la qualité des BSE produits.

H3 : Effets des politiques : les politiques (locales, régionales et nationales) qui stimulent la durabilité et la diversification des activités ont un effet sur le paysage et la diversité et la qualité des BSE

Le détail des hypothèses et le contenu des scénarios seront débattus avec le groupe Echange des savoirs et les responsables des différents WPs.

La modélisation multi-agents permet d'agencer différents points de vue et plusieurs niveaux d'organisation. En représentant les différents acteurs par des entités informatiques (les agents), en reproduisant leurs structures et leurs stratégies, ainsi que leurs interactions avec l'environnement, les systèmes multi-agents (SMA) favorisent l'étude simultanément des dynamiques sociales et écologiques. Ils permettent d'articuler l'ensemble dans des simulations informatiques à la fois rétrospectives et prospectives.

UML (Unified Modelling Language [OMG, 2003]) est l'outil de dialogue que nous utiliserons pour accompagner ces différentes étapes et pour nous permettre des allers-retours entre la conception et les simulations. Basé sur des notations graphiques simples, compréhensibles par des acteurs non scientifiques, UML est un langage de représentation des modèles.

Les modèles graphiques seront implémentés sur les plate-formes CORMAS et MIMOSA largement utilisés dans le domaine de la gestion des ressources naturelles (Bousquet *et al.*, 1998 ; Müller J.P., 2004). CORMAS et MIMOSA constituent des plate-formes complémentaires pour développer des modèles de coordination entre des acteurs et groupes d'acteurs utilisant des ressources et un espace en commun. CORMAS a été développé par l'équipe Cirad-Green et est disponible gratuitement sur le site <http://cormas.cirad.fr>. MIMOSA est en cours de développement par la même équipe.

Résultats attendus

- Analyse détaillée des covariations entre les données des WP1 à 4 ; mise en forme mathématique des covariations significatives ; détection des effets de seuil.
- Simulation de scénarios permettant la prise de conscience des divers acteurs et suggérant des politiques à mettre en œuvre, de la parcelle à la région et au pays.

Produits WP 5:

Identification et formulation mathématique des liens entre le contexte SOCIOECO, le PAYSAGE, les PRODUCTIONS, et les autres SERVICES

Simulation de scénarios testant l'efficacité de diverses approches de gestion et politiques publiques

WP6 : ECHANGE DES SAVOIRS

Objectifs : Intégrer les divers savoirs dans la conception des indicateurs et la simulation de scénarios. Permettre l'appropriation de ces outils par les acteurs de la gestion des écosystèmes

Responsables : P. Lavelle (IRD-UMR 137) ; référent P. De Robert (IRD-UR 169)

Equipes impliquées , principaux participants et ETP (mois, entre parenthèses)

- IRD-UMR 137 : P. Lavelle (32 ETP) Action 1 (Farmers Field Schools), Action 2 (recherche-intervention) dans les deux sites; coordination du WP ; T. Desjardins (ETP) , M. Grimaldi (ETP) Brésil
- IRD-UR 169 : P. de Robert (6 ETP) référent et Action 1
- CIRAD UR GREEN : J F Tourrand (6 ETP) et P. Bommel (9 ETP) action 3 : ateliers modélisations (WP5)

- UFPA-NEAF : I. Veiga (12 ETP) ; conseil et participation aux diverses activités ; C. Rocha et J A Herrera (9 ETP) actions 1, 2 et 3.
- Univ. La Amazonia : B. Ramirez (12 ETP), M P 30 ETP) actions 1, 2 et 3 en Colombie
- UFPA-LASAT : F. Michelotti (6), F. Halmenschlager (6) actions 1, 2 et 3 au Brésil

Tâches et calendrier d'exécution

- Année 1, mois 2 : Action 1 : « *Farmers Field Schools* »
- Années 1 à 3, mois 3-36 : Action 2 : Recherche-intervention. Action poursuivie les 3 années ; séminaires communs avec WP5 (modèle)
- Année 2, mois 14 : Action 3 : formulation des hypothèses à tester dans les scénarios (atelier 1 avec WP5)
- Année 3, mois 26 : Action 3 : implémentation des modèles (atelier 2 avec WP5)
- Année 3, mois 32 : Action 3 : validation des modèles et scénarios (atelier 3 avec WP5)
- Action 3 : formulation des hypothèses à tester dans les scénarios : séminaires communs avec WP5

Méthodes

Ce module comprend trois activités destinées à intégrer le savoir local et scientifique dans la mise au point d'indicateurs de services (WP4), la conception de scénarios et l'interprétation des divers résultats :

- Farmers Field Schools⁶ (établissement d'une base commune de savoirs) ; les modules Ecologie du Sol conçu pour la FAO par l'UMR 137 BIOSOL et « Integrated soil and nutrient Management » seront proposés à des groupes d'une trentaine de personnes choisies parmi les exploitants des zones étudiées, les cadres techniques des associations et ONGs et les gestionnaires locaux. Elles permettront d'établir une base commune de savoirs avant de passer aux actions suivantes de recherche-intervention et du projet.

Ces formations seront organisées au début du projet, au COLEGIO INSTITUTO AGROECOLOGICO DE FLORENCIA en Colombie et à l'ESCOLA FAMÍLIA AGRÍCOLA DE MARABA au Brésil. Ces Ecoles qui forment de jeunes agriculteurs des deux régions concernées offrent en plus des espaces et une main d'œuvre qualifiée pour l'action 2 :

- Recherche-Intervention : l'essai de techniques réputées durables (ex. *alley cropping*, agroforesterie ou création de *terra preta* artificielles) sera conduite dans les centres qui auront hébergé les FFS, avec les personnes ayant participé à l'action 1, avec des objectifs et des protocoles conçus en commun.
- Modélisation et discussion des résultats de la phase 1: les personnes participant à ce groupe de travail, sur une base volontaire, seront invitées à participer à l'élaboration des indicateurs de services (intégration des savoirs locaux) et à collaborer avec les experts modélisateurs du WP5 pour concevoir avec eux les hypothèses à tester et les scénarios à simuler dans une démarche de modélisation d'accompagnement.

Résultats attendus

Intégration et appropriation mutuelle des savoirs, notamment ceux générés dans le projet ;
Publication de documents techniques à l'usage des gestionnaires, de la ferme à la région

Produits WP 6:
Documents techniques sur la mesure des services écosystémiques (contribution proposée à la FAO)
Interventions dans les divers médias pour diffuser les résultats du projet

E2 : Contribution des diverses équipes (C= coordinateur ; P= participant)

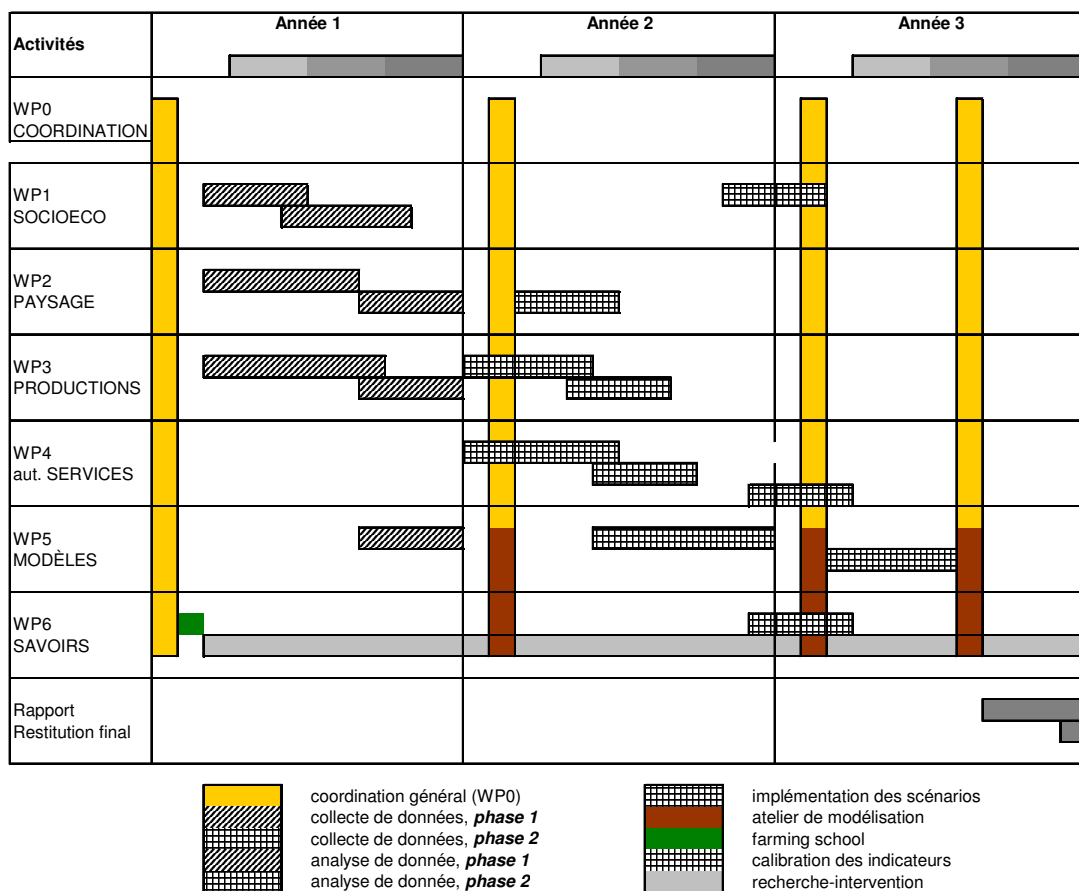
	UMR137 BIOSOL	CNRS- UMR 5603	CIRAD- UPR36	CIRAD GREEN	IRD- UR169 PATIS	UFPA- NEAF	UFPA- LASAT	UFRA	CIAT	Univ La Amazonia	CNRS UMR5023
WP0 Coordination	Générale WP4 WP6	WP1	WP2	WP5	WP1	Général Brésil	Sites Brésil		Général Colombie	Sites Colombie	
WP1 SOCIOECO		C			C	P	P			P	
WP2 PAYSAGE	P		C			P	P			P	
WP3 PRODUCTION						C	P			P	
WP4 SERVICES	C							P	P	P	
WP5 MODÈLES	P			C							C
WP6 SAVOIRS	P				P	P	P			P	

⁶ <http://www.fao.org/ag/agl/agll/farmspi/docs.stm>

Total ETP 144 116 27 57 24 66 60 48 62 72 12

Total Général : 688 mois/personnes soit 19,1 ETP pendant trois ans

E3 : Diagramme de Gantt récapitulatif



phase 1 : typologie des 300 exploitations
phase 2 : mesure des services dans 54 exploitations

E4 : Coordination prévues avec d'autres programmes

Un projet complémentaire de celui-ci a été déposé auprès de l' ANR-Biodiversité. Si les deux sont acceptés, la coordination se fera par les partenaires qui sont à 75% les mêmes et les sites qui sont communs.

F. Difficultés et risques et moyens prévus pour y parer

Le principal risque qu'affronte ce projet tient aux conditions de sécurité parfois imprévisibles, dans chacun des deux pays. L'expérience des recherches passées montre qu'à aucun moment les recherches n'ont été entravées par ces problèmes, même si des tensions ont pu apparaître ci et là à diverses époques, tant en Colombie qu'au Brésil. Nous comptons sur la grande connaissance du terrain et des acteurs des équipes engagées localement pour prévenir ces risques ; des sites alternatifs sont éventuellement disponibles dans les deux pays.

Références citées dans le texte

WP2

- Béringuier, Ph. Dério, P. Laques, A-E. 2000, Les paysages français, Coll. "Synthèse" Éd. Armand-Colin, 95p.
- Gond, V., Hubschman, J. and Meste, C., 1992, Suivi par télédétection spatiale des rythmes bioclimatiques et du comportement phénologique de la végétation dans le Nordeste du Brésil (Remote sensing of trends in bioclimatology and phenological behaviour of vegetation in Northeast Brazil), Sécheresse, 3: 97-102.
- Gond, V., Féau, C. and Pain-Orcet, M., 2003, Remote sensing and tropical forest management : logging tracks, Bois et Forêts des Tropiques, 275 : 29-36.
- Laques, A-E. , 2003, " Le front pionnier de Sao Felix do Xingu (Amazonie brésilienne) : Quels indicateurs pour l'analyse de ses dynamiques spatiales ? " in "Objets et indicateurs géographiques", UMR ESPACE, Actes Avignon n°5. (<http://www.geo.univ.avignon.fr>)

- Mayaux, P., Gond, V. and Bartholomé, E., 2000, A near-real time forest-cover map of Madagascar derived from SPOT 4- VEGETATION data, *International Journal of Remote Sensing*, 21:3139-3144.
- McGarigal, K. and B. Marks, J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, OR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.: 122.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D. and Harlan, J., 1974, Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III, Final report, Greenbelt, MD, USA, 371 pages.
- Gao, B., 1996, NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, Vol 58, p. 257-266.

WP5

- Chessel D. & Hanafi M. (1996) Analyse de la co-inertie de K nuages de points. *Revue de Statistique Appliquée*, 44, 35-60.
- Dolédec S. & Chessel D. (1994) Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31, 277-294.
- Ihaka R. & Gentleman R. (1996) R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299-314.
- Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M. (1997) ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7, 75-83.
- Townsend C.R., Dolédec S., Norris R.H., Peacock K. & Ar Buckley C. (2003) The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology*, 48, 768-785.
- Yoccoz N.G. & Chessel D. (1988) Ordination sous contraintes de relevés d'avifaune : élimination d'effets dans un plan d'observation à deux facteurs. *Compte rendu hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences, Paris, D*, 307, 189-194.

WP6

FAO, 2000. Guidelines and Reference Material on Integrated Soil and Nutrient Management and Conservation for Farmer Field Schools (guidelines for participatory diagnosis of constraints and opportunities for soil and plant nutrient management AGL/MISC/30/2000).