



ISTOM

Ecole supérieure d'Agro-Développement International

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex
tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Construction d'une démarche de co-définition du Service
Environnemental dans le cadre de la mise en œuvre d'un
Paiement pour Service Environnemental.
Exemple du bassin versant d'Andasy, commune de
Tolongoina, Madagascar.



(J.C. Poussin, 2011)

SOUTENU EN NOVEMBRE 2011



Céline Roche
Promotion 97
Stage effectué à Antananarivo, Madagascar
du 01/05/2011 au 30/09/2011
Au sein de l'UMR GRED de l'Institut de Recherche pour le
Développement (IRD) de Montpellier

Maître de stage : M. Georges Serpantié (IRD)
Co-encadrement : M. Jean-Christophe Poussin (CEMAGREF)
Tuteur de mémoire ingénieur : Mme Nadia Salhi-Larpin



ISTOM

Ecole supérieure d'Agro-Développement International

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex
tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Construction d'une démarche de co-définition du Service
Environnemental dans le cadre de la mise en œuvre d'un
Paiement pour Service Environnemental.
Exemple du bassin versant d'Andasy, commune de
Tolongoina, Madagascar.

SOUTENU EN NOVEMBRE 2011



Céline Roche
Promotion 97
Stage effectué à Antananarivo, Madagascar
du 01/05/2011 au 30/09/2011
Au sein de l'UMR GRED de l'Institut de Recherche pour le
Développement (IRD) de Montpellier
Maître de stage : M. Georges Serpantié (IRD)
Co-encadrement : M. Jean-Christophe Poussin (CEMAGREF)
Tuteur de mémoire ingénieur : Mme Nadia Salhi-Larpin

Résumés et mots clés

Résumé

Depuis 2008, le Gret développe le projet rHYvière d'électrification des zones rurales à Madagascar. La commune de Tolongoïna dans le sud-est du pays fait partie des sites pilotes. Une étude de faisabilité a souligné la possibilité de développer un outil de Paiement pour Services Environnementaux (PSE) pour la protection du bassin versant d'Andasy, situé en amont. Ce PSE semble répondre aux enjeux environnementaux et de développement souhaité par le Gret. Les habitants de Tolongoïna auront accès à l'électricité et seraient les bénéficiaires du PSE ; les paysans du bassin versant en respectant de « bonnes pratiques » seraient les fournisseurs de la garantie d'une quantité et d'une qualité d'eau nécessaires au bon fonctionnement de la centrale. L'IRD, par son programme de recherche SERENA, vient en appui au Gret afin de mettre en place une méthode de définition du service et de mise en œuvre du PSE. Cette méthode passe par la prise en compte des connaissances locales autant que des connaissances scientifiques afin de développer des solutions d'aménagements pertinentes avec le milieu considéré.

Mots clés : Paiement pour Services Environnementaux, savoirs locaux, connaissances scientifiques, bassin versant, hydrologie, corridor forestier, Madagascar.

Summary

Since 2008, Gret has been developing the project rHYvière for the electrification of countrysides in Madagascar. Tolongoïna in the south-east part of the country belongs to pilot site. A feasibility study emphasized the possibility to develop a way of Payment for Environmental Services (PES) to protect the drainage basin of Andasy, located up river. This PES look like it was answering at the environmental, and development issues wished by the Gret. The people of Tolongoïna will have access to electricity and will be the beneficiaries of PES; farmers respecting agricultural practices, which guarantee a good quality and quantity of water for the smooth functioning of the central. IRD, by his research program SERENA, is backing the Gret in order to build a definition method of the service concerned and of the implementing of PES. This method has to consider as local than scientific knowledge, so as to develop relevant solutions of improvement in the environment under consideration.

Key words: Payment for Environmental Services, Traditional knowledge, scientific knowledge, drainage basin, hydrology, forest corridor, Madagascar.

Resumen

Desde 2008, el Gret ha desarrollado el proyecto rHYvière para la electrificación de los pueblos de Madagascar. Tolongoïna en la parte sur-este del país hace parte del sitio experimental. Un estudio de factibilidad ha muestro la posibilidad de desarrollar un medio de Pagos por Servicios Ambiental (PSA) para proteger la cuenca de drenaje de Andasy, situado arriba del rio. Estos medios de pago parecen responder al lado medioambiental, y al desarrollo querido por el Gret. La población de Tolongoïna habrá acceso al energía y aprovechara los beneficios del PSA; granjeros respetando las prácticas de agricultura, quien asegura una buena cualidad y cantidad de agua para que funcione bien la central. El IRD, por su programa de búsqueda SERENA, apoya el Gret para construir un método de definición del servicio, y de implantación del PSA. Este método incluye tomar en cuenta los conocimientos locales tanto como los conocimientos científicos para desarrollar soluciones de habilitación pertinentes con el medio considerado.

Palabras claves: pagos por servicios ambientales, conocimientos locales, conocimientos científicos, hidroplano, pasillo silvestre, Madagascar.

Table des matières

RESUMES ET MOTS CLES.....	2
TABLE DES MATIÈRES	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	4
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	6
REMERCIEMENTS	8
INTRODUCTION.....	9
I. LES PSE : UN NOUVEL OUTIL POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE	11
1. ETAT DE L'ART.	11
1.1. CONSERVATION ET DEVELOPPEMENT.	11
1.2. UN NOUVEL OUTIL : LE PSE.....	13
1.3. SYNERGIE ET DICHOTOMIE DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET LOCALES.	17
1.4. BILAN DE L'ETAT DE L'ART.	21
2. OBJECTIFS ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.....	22
2.1. CONTEXTE DU PROJET.....	22
2.2. PROBLEMATIQUE.	23
II CADRE DE L'ETUDE ET METHODES	25
1. LE PSE DE TOLONGOINA.....	25
1.1. COMMUNE DE TOLONGOINA.	25
1.2. ACTEURS LIES AU PSE.....	28
1.3. GOUVERNANCE DU PSE.....	29
2. METHODES D'OBJECTIVATION DU SE.....	30
2.1. DONNEES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES.	30
2.2. ACQUISITION ET TRAITEMENT DE DONNEES QUALITATIVES.	36
2.3. METHODES DE RESTITUTION ET DE TRAVAUX PARTICIPATIFS.	37
III. RESULTATS DE L'ETUDE	39
1. TRAITEMENT DES DONNEES HYDROLOGIQUES.	39
1.1. RESULTATS DE 2010 ET QUESTIONS MISES EN EXERGUE.	39
1.2. TRAITEMENT DES DONNEES HYDROLOGIQUES 2011.	40
1.3. BILAN DES RESULTATS HYDROLOGIQUES.....	53
2. TRAITEMENT DES SAVOIRS LOCAUX POUR UNE OBJECTIVATION HYBRIDE.	54
2.1. SAVOIRS COLLECTIFS.....	54
2.2. EXPERIENCES INDIVIDUELLES.....	55
3. TRAITEMENT DES DONNEES D'ENQUETES POUR UNE CO-DEFINITION DES ACTIVITES ALTERNATIVES.	56
3.1. TYPOLOGIE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.	56
3.2. ACTIVITES ALTERNATIVES A PRIORI COMPATIBLES.....	62
4. CONFRONTATION DES DIFFERENTS RESULTATS EN REUNIONS PARTICIPATIVES.....	65
4.1. REUNION COLLECTIVE DE RESTITUTION DES RESULTATS OBTENUS.....	65
4.2. ATELIER PARTICIPATIF.....	66
IV. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS.....	69
1. LIMITES ET AVANTAGES DE LA METHODE.....	69
2. CRITIQUE DES RESULTATS OBTENUS.	70
3. IMPACTS SUR LE PSE ET RECOMMANDATIONS.	71
CONCLUSION	73
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
TABLE DES ANNEXES	80

Table des illustrations

Table des figures

Figure 1 : Organisation d'un service environnemental (Aznar et al., 2005).....	14
Figure 2 : Localisation de la commune de Tolongoina dans la région du corridor Ranomafana - Andritra (Toillier, 2009b).....	25
Figure 3 : Couvert végétal forestier conservé en haut et bas de pente (J.C. Poussin, 2011).....	26
Figure 4 : Localisation du BV et de l'ouvrage hydroélectrique (Toillier, 2009b).....	27
Figure 5 : Bassin d'Andasy, sous bassins expérimentaux et points de mesure (Moyen, 2010).....	27
Figure 6 : Gouvernance du PSE : le rôle central de la commune (Toillier, 2009b).....	29
Figure 7 : Installation du pluviomètre et du pluviographe (Roche, 2011).....	32
Figure 8 : A) Echelle à maximum du site 1. B) Echelles limnimétrique et à maximum du site 2 (Roche, 2011).	32
Figure 9 : Schéma conceptuel du modèle GR4j (Cemagref, 2003).....	35
Figure 10 : Débits matinaux durant les campagnes 2009-2010 et 2010-2011 (Serpantié, non publié).....	41
Figure 11 : Analyse de la courbe de tarissement et débit de ressuyage en période de faible débit d'étiage (Décembre 2009) (Serpantié, non publié).....	42
Figure 12 : Comparaison des débits spécifiques journaliers calculés par la méthode des hauteurs (Serpantié, non publié).....	42
Figure 13 : Comparaison des écoulements cumulatifs par la méthode des doubles cumuls (Serpantié, non publié).....	43
Figure 14 : Erosivité des pluies à Andasy en 2011 (Serpantié, non publié).....	44
Figure 15 : Classement des pluies érosives et peu érosive comparé à l'intensité maximale et au cumul journalier en mm/j (Serpantié, non publié).....	44
Figure 16 : Hydrogramme au pas de temps 15 min du 21/01/2011 au 22/01/2011 (Serpantié, non publié).....	45
Figure 17 : Débit matinal et débit maximum quotidiens en 2011 (Serpantié, non publié).....	47
Figure 18 : Test de cohérence des données (Serpantié, non publié).....	50
Figure 19 : Modélisation des débits de 2011 pour le bassin forestier avec le modèle GR4j.....	52
Figure 20 : Types d'érosion connus par les paysans (Roche, 2011).....	55
Figure 21 : Fréquences d'apparition des crues en fonction du type de bassin selon les paysans.....	55
(Roche, 2011).....	55
Figure 22 : Présence de ruissellements et d'érosion dans les parcelles selon les paysans (Roche, 2011).....	56
Figure 23 : Etapes pour la création d'un mécanisme PSE pour protéger le bassin versant et les ouvrages de la microcentrale hydroélectrique (Toillier, 2009b).....	72

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des acteurs impliqués dans le dispositif PSE de Tolongoïna et leurs rôles (Source : Moyen, 2010).	29
Tableau 2 : Calendrier des missions d'étude 2010 (Roche, 2011).	31
Tableau 3 : Calendrier des missions d'étude 2011 et des réunions participatives (Roche, 2011).	31
Tableau 4 : Différences relatives en % des débits matinaux entre le bassin agri-forestier et le bassin forestier en fonction des cas (Serpantié, non publié)	43
Tableau 5 : Caractéristiques des pluies écoulées (Serpantié, non publié).	46
Tableau 6 : Valeurs des paramètres Pl et a en forêt ou vieille <i>savoka</i> (Source : Brand et al. 1997 et Bailly et al. 1974).	47
Tableau 7 : Valeurs des paramètres Pl et a en milieu agricole (Source : Brand et al. 1997 et Bailly et al. 1974).	48
Tableau 8 : Valeurs des paramètres Pl et a en milieu dégradé <i>roranga</i> (Source : Brand et al. 1997 et Bailly et al. 1974).	49
Tableau 9 : Modèle empirique du ruissellement dans le bassin d'Andasy (Roche, 2011).	50
Tableau 10 : Optimisation des paramètres du modèle GR4j (Roche, 2011).	51
Tableau 11 : Formules de simulation des débits pour les scénarii d'occupation du sol (Roche, 2011).	52
Tableau 12 : Résultats de la simulation des débits en fonction des scénarii (Roche, 2011).	53
Tableau 13 : Classification <i>Tanala</i> des différentes caractéristiques du BV (Roche, 2011).	54
Tableau 14 : Variables utilisées pour décrire le fonctionnement des EA (Source : Toillier, 2009a).	57
Tableau 15 : Type d'exploitation agricole selon leur fonctionnement (<i>moyenne, minimum, maximum</i>) (Source : Toillier, 2009a).	61
Tableau 16 : Alternatives proposées aux paysans d'Andasy lors de l'atelier participatif (Roche, 2011).	64

Liste des sigles et abréviations

ACM : Analyse des correspondances multiples
Angady : bêche à long manche malgache
ANR : Agence Nationale de la recherche
AP : Aires protégées
APN : Agent de Protection de la Nature
APMM : Association des Peuples de Montagne du Monde
BV : Bassin Versant
C3EDM : Centre d'économie et d'éthique pour l'environnement et le développement à Madagascar
CAS : Centre d'analyse stratégique
CDB : Convention de la diversité biologique
CI : Conservation International
CIRAD : Centre de recherche agronomique pour le développement
cL : centilitre
COBA : COmmunauté de BAse
COFAV : Corridor Forestier Fandriana-Vondrozo
CTFT : Centre Technique Forestier Tropical
Dina : Règlement, convention obligatoire mis en place par les collectivités décentralisées à Madagascar
EA : Exploitations Agricoles
et al. : et collaborateurs
ETM : Evapotranspiration Maximale
ETP : Evapotranspiration Potentielle
ETR : Evapotranspiration Réelle
ERI : EcoRegional Initiatives
FAO : United Nations Food and Agriculture Organisation
FFEM: Fond Français pour l'Environnement Mondial
GCF : Gestion Contractualisée des forêts
GELOSE : Gestion Localisé SEcurisée
GPS : Global Positionning System
GR4J : Modèle hydrologique du Génie Rural à 4 paramètres journaliers.
h : heure
ha : hectare
hab : habitants
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
IRD : Institut de recherche pour le développement
JIRAMA : *Ji*ro sy *RA*no *MA*lagasy (compagnie d'eau et d'électricité malgache)
km : kilomètre
km²: kilomètre carré
L: litre

LINKS : Local and INdigeneous Knowledge

m: mètre

m²: mètre carré

m³: mètre cube

mL : millilitre

mm: millimètre

MEA : Millennium Ecosystem Assessment

MNP : Madagascar National Parks

Mpanjaka: Chef de village traditionnel malgache

ONE : Organisation nationale pour l'environnement

ONG : Organisation non gouvernementale

PAE : Plan d'Actions Environnementales

PCDI : Projet de conservation et de développement intégré

% : pour-cent

PSE : Paiement pour service environnemental

s : seconde

Savoka : Formation arborée secondaire malgache

SE : Service environnemental

STREAM : Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management (imperméabilisation et transfert par le ruissellement et l'érosion en relation avec la gestion agricole)

t : tonne

Tanala : Habitants de la forêt en malgache

Tanety : Colline en malgache

Tavy : Culture sur brûlis

TEEB : The economics of ecosystems and biodiversity

UE : Union Européenne

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations Unis pour l'éducation, la science et la culture)

USAID : United States Agency for International Development (Agence des États-Unis pour le développement international)

WWF : World Wildlife Fund (Organisation mondiale de protection de l'environnement)

Remerciements

En préambule de ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire. Mes premières pensées vont à tous ceux rencontrés sur le terrain et qui sans le savoir y ont grandement contribué, aux paysans du bassin pour leur accueil chaleureux et aux acteurs rencontrés à Tolongoïna et Fianarantsoa.

Je tiens tout d'abord à remercier Georges Serpantié, en tant que maître de stage, pour ces longues discussions toujours enrichissantes et ses remarques et conseils tout au long de mon travail.

Mes remerciements s'adressent également à Jean Christophe Poussin, co-encadreur du stage, pour sa franchise envers mon travail (et envers celui des informaticiens !), son aide face à la complexité des feuilles Excel, mais surtout pour sa bonne humeur et ses conseils avisés.

Merci à Jérôme et Aurélie pour leur implication dans le projet et pour leurs conseils tout au long de mon stage.

Merci aussi à Albert Rakotonirina pour son aide sur le terrain et ses traductions.

J'exprime ma reconnaissance au laboratoire de recherche C3EDM d'Antananarivo pour nous avoir accueillis dans ses locaux et au centre IRD de Montpellier, ainsi qu'à toute l'équipe du programme rHYviere du Gret.

Je remercie tout particulièrement Nathalie, Brigitte et Olga pour leur aide précieuse sur les chemins compliqués de l'administration et de l'organisation de missions.

Je tiens aussi à remercier ma tutrice ISTOM, Nadia Salhi-Larpin pour ses conseils lors de la rédaction, sa disponibilité pendant les six mois de stage et pour ses encouragements.

Mes pensées les plus chaleureuses vont envers mes amis que j'ai eu la joie de retrouver à Tana et envers ceux que j'ai eu la chance de rencontrer. Mes colocs à Tana (Pauline, Romain et Christelle) sans qui l'ambiance du séjour n'aurait vraiment pas été la même ! Un grand merci à Fred pour le trajet jusqu'à Tolongoïna malgré l'état de la piste et pour sa patience pendant la rédaction du mémoire. Un grand merci également à mes colocs de l'Isara pour leur bonne humeur et leur accueil !

Enfin, je dois beaucoup à mes parents pour leur soutien tant au cours de ce stage que dans mes choix, et ce malgré la distance. Merci d'avoir eu la patience de me relire. Merci également à Simon et Lucas pour leur soutien et leurs traductions.

Misaotra tompoko daholo !

Introduction

Trois précurseurs du concept de Paiement pour Services Environnementaux (PSE) ont marqué les esprits. La ville de New York, qui paie pour assurer la qualité du bassin versant approvisionnant la ville et la qualité de l'eau ; le Costa Rica, qui intègre les services rendus par les forêts du territoire dans ses politiques environnementales ; et la société Vittel (en France), qui contribue à la reconversion des exploitations agricoles du bassin versant abritant la source d'eau minérale. Ces trois exemples, souvent cités comme des *success stories*, ont grandement contribué à la réputation des PSE.

Les PSE sont aujourd'hui ancrés dans les travaux et les projets de développement consacrés à l'environnement. Pourtant ils restent encore un concept flou largement utilisé. Ce sont principalement des PSE internationaux qui sont aujourd'hui développés. Ils concernent les services environnementaux (SE) liés à la séquestration du carbone, la biodiversité et les services hydrologiques (Laurans et al., 2011) et sont principalement gérés par des ONG internationales. Au sein des pays en développement, l'Amérique Latine est la zone où leur implantation est la plus ancienne, notamment au Costa Rica. Ces mécanismes se développent en Asie du Sud-Est mais c'est en Afrique que leur développement semble le plus problématique. Cette constatation est surtout liée aux faibles cadres institutionnels et aux peu d'informations disponibles en termes techniques et scientifiques dans les pays africains (Laurans et al., 2011).

Le projet de recherche-action entrepris à l'initiative du Gret, en collaboration avec l'IRD, développe une méthode de mise en œuvre d'un PSE à Madagascar. Ce PSE a pour but de gérer durablement la ressource en eau d'un bassin versant dans le contexte de la mise en place d'une filière d'hydroélectricité. Le programme s'inscrit dans les travaux du programme ANR SERENA (Services environnementaux et usages de l'espace rural) et le projet rHYvière du Gret.

Le programme de recherche SERENA travaille sur la genèse du concept de « services environnementaux » et sur son application dans les politiques publiques, ainsi que sur l'analyse des définitions et mises en œuvre du dispositif dans ces mêmes politiques. L'étude, menée sur 4 années (2009-2012), est comparative et internationale (Auvergne, Costa Rica, Guadeloupe, Madagascar, Réunion). SERENA est ainsi amené à appréhender le fonctionnement des dispositifs de « PSE » (évaluations ex-ante et ex-post), les modes de gouvernance et leurs méthodes. Cette recherche vise au développement de recommandations et de méthodes pratiques pour améliorer la mise en œuvre de ces dispositifs. Le programme SERENA - Madagascar est conduit par des chercheurs de l'IRD, du CIRAD, du CEMAGREF et du C3EDM à l'Université d'Antananarivo. Le C3EDM est le laboratoire d'accueil de SERENA à Madagascar. Avec des partenaires tels que le WWF, l'Office National de l'Environnement (ONE) ou Madagascar National Parks (MNP), le programme SERENA co-anime le groupe de travail « PSE » à Madagascar.

Depuis 2008, le Gret a lancé un projet d'électrification rurale à Madagascar, le projet rHYvière, dans le but de concevoir, tester puis vulgariser les mécanismes de développement de la filière de la petite hydroélectricité en milieu rural. Les principaux axes du projet sont le

développement de sites-pilotes de centrales hydroélectriques, les transferts de technologie et le développement d'une base de données « AMPERE ». 8 projets pilotes sont alors établis dans quatre régions de Madagascar (Atsinanana, la Vakinankaratra, la Haute Matsiatra, et Vatovavy-Fitovinany) et chacun porte sa spécificité (Coopération établie avec la JIRAMA (compagnie d'eau et d'électricité malgache), adduction d'eau potable, protection de l'environnement (PSE)...).

En 2007, Tolongoina est choisi comme un des huit sites pilotes du programme rHYvière. Emerge alors l'idée de gérer durablement les infrastructures hydroélectriques par le biais d'un PSE. Les autorités de la commune prennent immédiatement des mesures afin de protéger le bassin versant. Les paysans travaillant dans le bassin versant d'Andasy, en amont de la centrale, sont ainsi soumis aux *dina*¹. Ces mesures visent à interdire le défrichement de la forêt et le *tavy*². La démarche du projet est alors d'objectiver le SE, avant la mise en œuvre et la contractualisation du PSE. En effet, nombre de projets décident d'utiliser le PSE sans jamais tenter au préalable d'identifier et d'évaluer les services en question.

L'objectif de ce travail de recherche est de développer une méthode hybride fondée sur des connaissances scientifiques et les connaissances des acteurs concernés. Etant un site pilote, le PSE de Tolongoina servira de modèle à d'autres projets qui souhaitent développer le même type d'outil. L'enjeu est donc de mettre en place une méthode pour passer de la théorie à la pratique effective et durable des PSE pouvant être généralisée à plus ou moins grande échelle et de réussir à lier les enjeux sociaux et environnementaux de développement du PSE. L'objectif de ce stage est de contribuer à mettre en place des outils et des méthodes qui permettront de continuer l'objectivation du SE entreprise l'année dernière et d'y intégrer les connaissances paysannes afin d'aboutir à des résultats en liens étroits avec le contexte et donc plus pertinents.

La première partie est consacrée à une étude de l'intégration des savoirs et des pratiques paysannes dans les projets de développement et à la théorie des SE et PSE. La deuxième partie présente le site de l'étude et la méthode utilisée, en relation avec les particularités du contexte. La troisième partie présente les différents résultats obtenus lors de ce stage. La quatrième partie sera consacrée à une analyse de la méthode et des résultats afin de proposer des pistes de travail pour la suite des activités.

¹ Règlement, convention obligatoire mis en place par les collectivités décentralisées à Madagascar.

² Culture sur brûlis

I. Les PSE : un nouvel outil pour le développement durable

1. ETAT DE L'ART.

1.1. Conservation et développement.

1.1.1. Place des populations dans les projets de conservation.

Conservation et développement des populations paraissent souvent contradictoires. Forsyth et al. (1998) développe la notion de “*downward spiral*”¹. Les populations pauvres des pays en développement n’ont pour seule réponse à la pression démographique qu’une marginalisation économique et la dégradation des terres. Cette théorie renvoie à la thèse malthusienne, s’opposant à celle de Boserup, de la résilience des populations face à la pression démographique. Il considère que pauvreté et détérioration des terres sont intrinsèquement liées et qu’il est nécessaire de travailler à la réduction de la pauvreté pour pallier à la dégradation de l’environnement. Or les politiques de conservation sont souvent mises en place par l’exclusion des populations (Cormier-Salem et al., 2005). Pourtant l’évolution de la biodiversité est sous l’influence de facteurs anthropiques à un degré plus ou moins important (Serpantié et al., 2007). La présence même de biodiversité n’est pas sans rapport avec les fondements de certaines civilisations. Par exemple à Madagascar, le riz bute sur des frontières climatiques et géomorphologiques. Cela laisse un espace à la biodiversité forestière (Serpantié et al., 2007). Il faudrait donc prendre en compte à la fois les problèmes de pauvreté et les capacités locales à les conserver.

L’intégration des populations locales est devenue le point clé de certains projets. Ainsi, Moller et al., (2004) montrent la récente tendance à développer des démarches participatives dans les projets de développement. Les nouvelles approches de conservation sont basées sur les communautés car la conservation par simple interdiction d’accès ou d’usufruit ne fonctionne pas à long terme. Une gestion élaborée en collaboration avec la population permet d’établir un cadre de réglementation adapté. De plus, leur participation garantit en quelque sorte leur capacité à adopter de nouvelles mesures. Les règles de gestion peuvent alors être appropriées et réinterprétées selon les besoins et adaptées en fonction de l’évolution du contexte (Rey, 2009). Ce système paraît alors plus durable et efficace. Mais ce souci de la participation va parfois trop loin. Nombreux sont les acteurs du développement qui ont « poussé trop loin cette considération et ont cherché, au-delà de la participation des populations, à mettre en avant les couches sociales du « bas » au détriment des réalités sociales et des rapports de force en place » (Ibid, p.11).

Une approche économique du problème a aussi été tentée. Les Projets de Conservation et de Développement Intégrés (PCDI) vont être mis en place dans les années 1980 dans le monde entier. Ils font suite à la prise de conscience de la nécessité de considérer les populations locales vivant dans les territoires définis comme des parcs (Bidaud et al., 2006). Les PCDI cherchent donc à allier conservation et développement en apportant des compensations aux communautés riveraines. Elles consistent en la mise en place d’une

¹ Cercle vicieux

valorisation des ressources ou la création d'infrastructures bénéficiant à l'ensemble d'une population. Les options développées cherchent à répondre aux causes de dégradation des forêts (alternatives au brûlis ou à la cueillette) tout en incluant un facteur social et communautaire. Dès les années 2000, les PCDI sont très controversés (Toillier, 2009a). Les PCDI n'ont pas réussi à gérer durablement les ressources ni à réduire la pauvreté (Méral, 2010). Certains les considèrent comme des approches de conservation « par distraction », pointant le caractère trop indirect des compensations (Ferraro et al., 2002).

La dernière approche est culturelle et concerne l'éducation environnementale. Il est possible de citer l'exemple du centre de recherche Valbio¹ à Ranomafana. Le centre prône une éducation environnementale de la population de la région afin de gérer le parc national de Ranomafana d'une manière durable et efficace. Pourtant, cette éducation est le plus souvent à sens unique car les paysans ne sont là que pour partager leurs « secrets » et connaissances ancestrales. Par exemple sur l'utilisation de certaines espèces en médecine ou pour la pharmacopée.

1.1.2. Cas des politiques nationales malgaches.

Madagascar est considéré comme un *hotspot* de biodiversité. Le pays regroupe plus de 12 000 espèces endémiques à la région de l'Océan Indien (CI, 2007). Dès 1925, les textes de lois à Madagascar posent la question de l'accès aux ressources naturelles laissées aux populations locales mais jusqu'en 1990, les textes de lois appliqués sont répressifs et exclusifs (Bertrand et al., 2008).

La Charte de l'environnement à Madagascar est institutionnalisée par la loi n° 90-033 du 21 décembre 1990². Cette charte permet de développer des instruments de gestion basés sur des mécanismes locaux et sur la gestion décentralisée en tenant compte du facteur développement rural. Le Programme d'Action Environnementale (PAE) en est la mise en œuvre. Le PAE est constitué de 3 phases, PAE 1, PAE 2 et PAE 3, ce dernier prenant fin en 2009.

Au milieu des années 1990, des principes de gestion communautaire vont être développés. Les COBA (COmmunautés de BAse) vont avoir en charge la gestion de certaines forêts malgaches grâce aux textes de la loi 96-025 GELOSE (Gestion Localisée Sécurisée) et au décret de 2001 qui concernent la Gestion Contractualisée des Forêts (GCF). Les COBA se voient transférer la gestion des ressources naturelles de leur territoire afin de palier à l'échec de l'intervention de l'État malgache. Les transferts de gestion n'associent pas seulement les populations à la gestion des ressources mais elles sont aussi impliquées dans un objectif de gestion durable du milieu (Blanc-Pamard et al., 2008). Plusieurs critiques apparaissent concernant la gestion communautaire. Les négociations sur les règles sont dissymétriques, les ONG³ poussent à la conservation pure. Les interlocuteurs chargés de négocier les règles ne sont pas les plus concernés par leur mise en pratique (Serpantié, 2008). De plus, il y a une trop grande hétérogénéité des communautés vis-à-vis des coûts d'opportunité (Toillier et al., 2011) et des stratégies (Ballet, 2007).

Suite à la conférence de Durban en 2003, Madagascar a vu une extension très rapide des aires protégées (AP) et des contrats GCF dans les zones périphériques. Les superficies des AP ont été triplées mais il n'y a pas eu de prise en compte des populations locales dans la mise en défens, en dehors des GCF. Ainsi, de nombreuses localités se sont vu interdire l'accès à des terrains utilisés habituellement sans aucune aide ou contrepartie (Marie et al., 2009).

¹ Centre de recherches scientifiques et environnementales américain de Ranomafana, Madagascar. Géré par l'ICTE (Institute for the Conservation of Tropical Environments).

² Modifiée par les lois n° 97-012 du 06 juin 1997 et n° 2004-015 du 19 août 2004.

³ Organisation Non Gouvernementale

Mengue-Medou (2002) souligne l'importance de la qualité de la gestion des aires protégées qui est plus importante que les superficies mises en défens. Beaucoup de fonds sont alloués à la mise en place d'aires protégées à Madagascar, mais suivi et fonctionnement sont rarement pris en compte dans le financement (Serpantié et al., 2009). Ces problèmes de fonds bloquent la gestion durable du dispositif.

Les résultats obtenus par ces différentes politiques mises en place à Madagascar concernant l'intégration des populations dans les processus de conservation sont faibles. Avec l'affaiblissement de l'Etat malgache suite aux événements politiques de 2009, de nombreuses AP sont devenues le théâtre de pillages des ressources naturelles (Ballet et al., 2010). Il paraît important d'étudier de nouveaux outils qui pourraient pallier à ces dysfonctionnements.

1.2. Un nouvel outil : le PSE.

1.2.1. Notion de « service environnemental ».

1.2.1.1. Origine des Services Environnementaux.

La notion de service écosystémique ou environnemental et de paiements pour ces services s'est développée à la fin des années 1990. Elle est aujourd'hui intégrée dans les politiques nationales au Costa Rica par exemple. L'introduction de la notion de service est de plus en plus utilisée et véhiculée par les institutions de protection et de conservation de la biodiversité (rapport MEA, rapport CAS, rapport FAO ou encore rapport TEEB¹) (Méral, 2010).

L'étude de la littérature montre que la notion académique est apparue bien avant la date clé souvent retenue de 1997 (Méral, 2010). Cette année est celle de parution de l'article « *The value of the world's ecosystem services and natural capital* » de Costanza et al. (1997) dans la revue *Nature* et de l'ouvrage de Daily (1997) « *Nature's services* ».

Dans les années 2000, la notion de SE comme outil de gestion et de conservation de l'environnement émerge. Cela fait suite aux évaluations économiques environnementales par des institutions de conservation (Méral, 2010).

A Madagascar, la notion de SE est apparue plus tard et ne fait pour le moment pas l'objet de politique nationale (Antona et al., 2010 ; Andriamahefazafy et al., 2010).

Si cette rhétorique est aujourd'hui ancrée dans les stratégies des grandes instances et les esprits, quels sont les réalités des liens entre bien-être humain, biodiversité et protection de la nature ?

1.2.1.2. Définition des SE.

La notion de service écosystémique a été « mise en politique » à travers le MEA en 2005. Le MEA ne considère pas le caractère éventuellement néfaste des écosystèmes. Les écosystèmes ne sont considérés que comme source de services pour l'homme et sa présence au sein des écosystèmes devient une pression nuisible pour lui-même et pas seulement pour la biodiversité. Le service écosystémique est défini par les bénéfices tirés d'un écosystème par la population, ce bénéfice (actuel ou à venir) devant être explicite (MEA, 2005).

L'écologie ou l'hydrologie renseignent sur des fonctions écosystémiques, c'est-à-dire l'impact d'un écosystème A, sur l'écoulement par exemple, par rapport à un écosystème B. Certains usagers de l'eau bénéficient alors du choix de A qui rend un « service » écosystémique à B.

¹ Millenium Ecosystem Assesment (MEA), Conseil d'analyse stratégique (CAS), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), The Economy of Ecosystems and Biodiversity (TEEB).

Lorsqu'une vision commune entre acteurs sur une fonction donnée est définie, il est possible de concrétiser le service et de transformer les acteurs en « bénéficiaires » et « fournisseurs ».

Au niveau sémantique, il existe deux expressions proches, à l'origine équivalentes, pour SE : *services écosystémiques* ou *services environnementaux*. Un glissement d'utilisation du terme écosystémiques vers environnementaux est expliqué dans la note de synthèse du programme SERENA (Antona et al., 2010). Le terme service environnemental est appliqué aux relations entre humains à propos d'enjeux environnementaux. Ce changement se tourne également vers la notion de transaction monétaire. « Comme le mentionne B. Hubert, on parle en effet de Paiement pour Service Environnemental et non de Paiement pour Service Écosystémique » (Ibid., p.9). Services environnementaux se rapportent à la notion économique alors que services écosystémiques touchent plus à la nature elle-même, sans intervention humaine.

Les services environnementaux reposent sur le principe de l'internalisation des externalités positives fournies par les écosystèmes et une vision « économique » de l'environnement. Ce sont alors les hommes qui échangent des services par le biais d'un objet de l'environnement.

Le service est schématisé comme suit par Aznar et al. (2005).

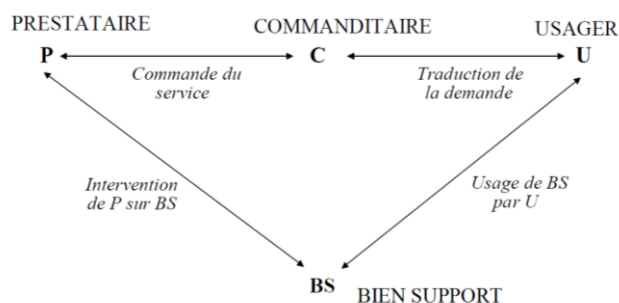


Figure 1 : Organisation d'un service environnemental (Aznar et al., 2005).

Pour Aznar, le SE provient d'une activité intentionnelle. Le prestataire influe sur un bien support (dans l'environnement) pour fournir un service utilisé par l'utilisateur. Le commanditaire assure ici le lien entre prestataire et utilisateur comme médiateur par exemple.

A cette notion de SE vient alors s'associer l'outil de Paiement pour Services Environnementaux.

1.2.2. Outil PSE.

1.2.2.1. Théorie des PSE.

L'instauration d'un outil PSE dans le but de conserver la biodiversité instaure une notion de valeur économique et de marché et fait référence à l'économie de l'environnement. L'environnement, bien public, devient l'objet d'échange monétaire. Une approche dite « coasienne » est inspirée de la théorie des externalités positives qu'il convient d'internaliser au travers d'un paiement sous l'hypothèse d'une information parfaite et partagée et de faible coût de transaction. Un PSE est efficace et équitable par nature car c'est un contrat établi entre deux personnes volontaires.

Le PSE est un « paiement direct à des acteurs pouvant en assurer le maintien » (Antona, 2010 p.10). « Le service environnemental est donc un bien public au sens économique. Pour le prestataire, il existe une compensation au service rendu, le plus souvent sous forme monétaire,

mais [...] ce n'est pas toujours le cas quand les prestataires sont des bénévoles, regroupés ou non en association. » (Aznar, 2002 cité par Aznar et al., 2005 p.2).

Pagiola et al., (2005) considère que ceux qui fournissent des services environnementaux devraient être payés pour le faire ; et que ceux qui bénéficient des services environnementaux devraient les payer.

Wunder (2005) établit, sur la base de ces expériences en Bolivie et au Vietnam, cinq conditions définissant un mécanisme de PSE :

- 1) une transaction volontaire formalisée par un contrat, où
- 2) un SE bien défini –ou un usage pouvant assurer la fourniture de ce SE-
- 3) est « acheté » par (au moins) un client de SE
- 4) à (au moins) un fournisseur de SE,
- 5) si, et seulement si, le fournisseur de SE assure la fourniture ininterrompue du SE (conditionnalité).

La compensation du coût d'opportunité est l'élément central du PSE. Un bénéfice est réalisé en affectant une ressource à un usage donné ; si elle n'est pas affectée, il y a donc une perte de bénéfice qui correspond au coût d'opportunité de la ressource. Le coût d'opportunité est le coût estimé en termes d'opportunités non réalisées. Le PSE nécessite de mesurer le bénéfice et cette perte de bénéfice.

Il n'y a pas de mise en place d'un outil économique sans effets pervers. Il instaure donc une régulation marchande du bien ou service ciblé. Se pose alors le problème de la caractérisation des acteurs concernés et des effets externes qui peuvent avoir lieu.

L'établissement d'un système durable de compensation pourrait alors pallier au manque de fonds qui apparaît souvent pour la gestion et la maintenance des projets de conservation. Le PSE apparaît donc comme un nouvel outil d'aide à la conservation et à la gestion des espaces naturels puisqu'ils permettent de générer de nouvelles sources de financement pour la conservation.

1.2.2.2. Mise en pratique des PSE.

Mais ces définitions du PSE restent canoniques car elles sont, sur le terrain, difficiles à observer. Il est peu aisé de cantonner le PSE à 2 types d'acteurs, bénéficiaires et fournisseurs du SE. Il existe d'autres types d'acteurs dans la sphère du PSE tels que les certificateurs, chercheurs, ONG intermédiaires... De plus, il existe des jeux d'acteurs. Enfin, les conditions d'application de la théorie coasienne ne sont pas toujours remplies. Les informations peuvent ne pas être partagées à un même niveau par tous les acteurs concernés et tous n'ont pas le même pouvoir de négociation (Karsenty, 2011). Les coûts de transaction peuvent être très élevés.

Un PSE est plus ou moins efficient. Lorsque le but sous-jacent du PSE est la diminution de la pauvreté, la compensation du coût d'opportunité doit être majorée pour avoir un réel impact. Dans un cadre de développement, le PSE devrait tenter d'être un appui global de développement et pas seulement un outil de conservation. Si la solution apportée n'est pas globale cela peut créer des incitations à défricher, pour pouvoir bénéficier des compensations apportées par le système de PSE (Lescuyer, 2010).

Il existe aussi une différence de définition, de mise en œuvre et d'échelle entre les PSE en fonction du service. A Madagascar, deux types de PSE sont observés. Bidaud et al. (2011) ont comparé le service « eau » et le service « carbone ».

Les PSE dans le cadre d'un service lié à l'eau s'appuient sur un bien collectif et local (impact dans un périmètre restreint). Cela est propice à la mise en place d'accords bilatéraux, à la

différence des PSE concernant le carbone touchant à un bien public non palpable qui bénéficie à tous. Le service est plus facile à concevoir par les populations, l'eau étant un élément palpable. En comparaison, les services autour du carbone appartiennent à un marché très large et « invisible ».

Mais il est difficile de démontrer l'additionnalité du service pour les PSE « eau », l'aspect contractuel est plus important car l'objectivation du service prend du temps et l'étude coûte cher. Cela n'est pas toujours bien perçu par les populations locales qui sont sollicitées pour l'objectivation mais qui sont en attente de la mise en œuvre du PSE. L'absence d'objectivation en revanche permet aux bénéficiaires d'échapper à leurs responsabilités et favorise la stigmatisation des populations en amont. (Bidaud et al., 2011).

1.2.2.3. Relations d'acteurs et questions d'échelle.

Dans la mesure où le service doit être estimé, il est nécessaire de comprendre les interactions qui régissent le fonctionnement de l'écosystème étudié. Les dynamiques du système peuvent être appréhendées par une étude systémique de l'interrelation des acteurs, entre eux et avec l'écosystème. Une analyse des fonctionnements individuels permet de relever les définitions pluralistes des valeurs. Il existe une pluralité de points de vue des acteurs locaux en ce qui concerne la définition et la rémunération des valeurs des objets (Raymond et al., 2009)

L'intégration des pratiques locales doit aussi tenir compte du changement d'échelle qui s'établit. La définition d'un SE et la mise en œuvre d'un PSE s'établissent à l'échelle de l'écosystème. A contrario, les pratiques locales peuvent être définies à l'échelle familiale, individuelle locale ou à l'échelle de la parcelle.

Une approche d'écologie culturelle au niveau familial permet de mieux saisir les interactions entre les écosystèmes et les hommes. Il est important de tenir compte d'une échelle plus globale car dans certains contextes, la population locale n'est pas seule responsable. Des décisions à plus grande échelle peuvent avoir des répercussions sur le milieu et sur les activités. L'échelle terroir est souvent l'approche choisie dans le cadre de gestion communautaire. Ainsi, le projet *Dette nature* (CAF-APN¹) est un programme forestier de WWF² lancé en 1997 à Madagascar. Il vise à la gestion améliorée de la forêt humide malgache par une approche participative et un transfert progressif des responsabilités de gestion aux associations de Communautés de Base. Une approche terroir est utilisée afin de mettre en place un projet de protection de l'environnement et de protection des forêts. Elle permet de sensibiliser au mieux les populations impliquées. L'unité terroir est définie « comme l'espace à l'intérieur duquel vit une communauté obéissant à des règles sociales communes et ayant les mêmes intérêts. La communauté y tire l'essentiel de ses ressources » (Blanc-Pamart et al., 2008).

La pérennité du PSE passe également par la prise en compte du contexte institutionnel. Il est important de considérer le cadre de gouvernance dans lequel il s'instaure. Ainsi, dans les pays en voie de développement où les institutions restent souvent fragiles, des institutions intermédiaires (telles que ONG ou associations) jouent un rôle fondamental pour porter le projet de PSE (Georges et al., 2009).

L'objectivation du SE et par la suite la mise en œuvre du PSE doivent s'appuyer sur des systèmes où les acteurs (privés, publics ou étatiques) interagissent. Les dynamiques locales doivent bien entendu être respectées et le système doit proposer « une capacité de

¹ Le projet *Dette Nature* intègre deux projets opérant ensemble sur le terrain : le projet CAF (Cadre d'Appui Forestier) et le projet APN (Agent de Protection de la nature).

² World Wildlife Fund (Organisation mondiale de protection de l'environnement).

concertation et d'implication des populations concernées dans leur ensemble, en d'autres termes, la capacité de ne pas intervenir dans les rapports de force ni de s'offusquer de la mainmise des autorités coutumières » (Rey, 2009).

1.3. Synergie et dichotomie des connaissances scientifiques et locales.

1.3.1. *Quelles informations pour la mise en œuvre d'un PSE ?*

1.3.1.1. Des informations pour objectiver les fonctions à la base de SE.

L'étude du PSE d'Antarambiby mis en place par l'APMM¹ (2004) montre que ni les savoirs locaux, ni la science n'ont été mobilisés pour identifier les SE. Ces derniers ont été énoncés par des experts mais n'ont pas convaincus les bénéficiaires (Moyen, 2010). La mobilisation de savoirs pourrait permettre de mieux impliquer les différents acteurs. Ainsi, même lorsqu'une étude repose sur les savoirs locaux uniquement, il serait nécessaire de mettre en place une démarche rigoureuse afin que les résultats soient fiables et considérés par tous les acteurs (Bidaud et al., 2011).

Il est donc important de démontrer la réalité du service et la relation entre activités humaines et problèmes environnementaux. L'exposé de « vérités » présentées comme générales intervient souvent dans l'établissement d'un PSE. Cela au profit théorique de la conservation et moins en faveur des populations locales qui vivent de cet écosystème. L'abus de ces rhétoriques a été souligné par Serpantié et al., (2009). « Un aspect fondamental des PSE est le lien entre services écosystémiques et mode de gestion des terres. Tout le mécanisme repose sur l'hypothèse fondamentale que l'on peut connaître avec suffisamment de certitude les pratiques qui conduiront à une amélioration des services écosystémiques et que cette amélioration pourra être quantifiée et clairement liée aux changements de pratiques (et à leur coût) » (Karsenty et al., 2009 p.8).

Dans le cas d'un PSE de protection des bassins versants, beaucoup de préjugés persistent concernant l'utilisation des écosystèmes forestiers par les populations locales et paysannes. Andréassian (2001) explique le débat existant entre forestiers, convaincus que le déboisement massif donne lieu à des crues, sécheresses, gelées et tempêtes ; et des ingénieurs, doutant du rôle hydrologique de la forêt, lui attribuant un rôle de stabilisation des sols. Le lien est complexe et variable selon le contexte, il est donc primordial de déconstruire les préjugés et de démontrer le type de relation existant (Lescuyer, 2010).

La thèse admettant que les arbres protègent l'eau de la forêt a largement été diffusée par les projets de conservation. Il est courant de voir des projets mis en place pour la conservation de la forêt afin d'éviter par exemple de grandes inondations. Ces mêmes forêts peuvent avoir un impact négatif sur les flux d'étiage ou sur les systèmes agricoles, mais il est peu pris en compte.

La détermination des fonctions écologiques peut être établie grâce à des mesures et données scientifiques mais la mise en pratique sur le terrain démontre qu'il peut être concluant de s'intéresser à d'autres formes de savoirs. Parmi ceux-ci, citons les savoirs experts, savoirs locaux, savoirs faire, l'expérience individuelle... La connaissance du SE doit être le résultat d'une co-construction, tant l'instrumentalisation de la science par certains acteurs crée une dissymétrie dommageable quand elle ne trahit pas la science elle-même.

¹L'APMM : Association pour les Peuples des Montagnes du Monde ; cette association a mis en place un PSE répondant à une problématique d'eau potable dans le bassin versant d'Antarambiby, près de Fianarantsoa.

1.3.1.2. Des informations socio-économiques.

Des informations socio-économiques permettant de qualifier les acteurs impliqués dans les contrats de PSE permettent d'évaluer les termes du contrat. Cela permet d'établir un contrat pertinent et pouvant être tenu par toutes les parties prenantes. En effet, les termes du contrat doivent être réfléchis dans un souci d'équité. Les relations sociales entre les acteurs doivent être considérées et les modifications engendrées par le projet dans la structure sociale appréhendées (Bidaud et al. 2011).

1.3.2. *Savoirs locaux : Réel intérêt ou instrumentalisation ?*

1.3.2.1. Histoire des savoirs locaux : de la redécouverte à l'institutionnalisation.

Les projets de développement ont d'abord évolué dans une logique de transfert des techniques et technologies du nord vers les pays du sud, et c'est encore souvent le cas dans le paradigme actuel du développement durable (Serpantié, 2009). L'émergence de la notion de savoirs locaux montre une nouvelle tendance.

A l'origine, l'étude des savoirs locaux est évoquée par Barrau et Concklin dans les années 1950 par le terme d'*ethnoscience*. Les travaux de Sautter et Pelissier en 1964 sur les études des terroirs intègrent l'analyse des procédés de conservation et d'agriculture dans les sociétés africaines et malgaches. Petit à petit, le terme de savoirs locaux (*Traditional Ecological Knowledge* en anglais) est devenu indispensable pour un discours « écologiquement correct » (Cormier-Salem et al., 2002). Aujourd'hui, de nombreux travaux sont réalisés sur ces interactions et échanges de « *traditionnal knowledge* ». La définition est une « accumulation entre connaissances, savoirs faire, pratiques et représentations développées et entretenues par les populations avec une longue histoire d'interactions avec l'environnement naturel » (ICSU, 2002).

De nombreuses recherches traitent des savoirs locaux. La Banque Mondiale travaille sur « les savoirs locaux au service du développement » (Bathélémy C., 2005). Le projet LINKS (Local and Indigenous Knowledge Systems) de l'UNESCO¹, inscrit dans l'Agenda 21 de la convention sur la biodiversité, reconnaît l'importance des savoirs et des peuples autochtones au niveau mondial. Ce projet établit que la différence majeure entre les pays occidentaux et les pays du sud est le rapport à l'environnement. Dans la philosophie occidentale, il existe une séparation entre l'homme et la nature alors que dans la pensée autochtone, les systèmes écologiques et sociaux sont le plus souvent intimement liés. Les sciences sociales permettent donc de comprendre les spécificités, la résilience et les résistances locales à certaines démarches de gestion imposées de l'extérieur (Doyon, 2005).

Les savoirs locaux font l'objet d'une mise en politique depuis peu. La Convention de la Diversité Biologique (CDB) en 1992 prend en compte « savoirs, innovations et pratiques des communautés autochtones et locales ». « Ce savoir environnemental (...) est très important et témoigne de la vitalité d'un groupe, de sa capacité d'apprendre et de se transformer » (FAO, 2004). Ainsi, le principe même des savoirs est leur caractère dynamique par nature (Idib.).

En réalité, les savoirs locaux sont encore peu consultés. Ils sont utilisés dans le cadre de recensement d'espèces pour une étude d'impact environnemental (Cormier-Salem et al., 2002), ou dans le domaine de la pharmacopée. La CDB tentait justement de protéger ces plantes utiles en répartissant au mieux les bénéfices tout en reconnaissant que les pays du nord sont ceux possédant les technologies nécessaires à exploiter cette biodiversité présente dans les pays du sud. Galvin (2004) dans sa thèse présente l'article « *Last Tribes, last knowledge* »

¹ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations Unis pour l'éducation, la science et la culture).

de l'hebdomadaire américain Time en septembre 1991 et démontre l'instrumentalisation des savoirs locaux par les politiques globales.

Dans de nombreux cas, des formes d'idéalisation des savoirs locaux « relevant du « populisme idéologique », c'est-à-dire exaltant une vision enchantée des savoirs et des pratiques populaires (Olivier de Sardan, 2001): en dépit de l'adaptabilité des systèmes autochtones (Lesourd, 1997), ils peuvent parfois être dépassés. » (Rey, 2009, p.11).

1.3.2.2. Méthodes et difficultés de recueil.

Cormier-Salem et al. (2002) soulignent que « la nature des uns n'est pas celles des autres et les espèces et espaces valorisés par les populations rurales ne sont pas forcément ceux que les naturalistes trouvent dignes d'intérêt » (p. 134).

Ainsi, « pour que les savoirs locaux se muent en savoirs scientifiques, il faut les identifier, les vérifier, les tester et les codifier » (Boly, 2010). Les démarches scientifiques d'études des savoirs locaux se doivent d'être vigilantes et ne pas modifier les cadres conceptuels des populations locales. Les différences d'interprétation doivent être étudiées dans leur ensemble afin de comprendre les rationalités de chaque population face à son milieu.

En effet, la difficulté de cette discipline reste de recueillir des classifications locales tout en gardant un cadre d'interprétations scientifiques. Il serait nécessaire d'adapter nos classifications habituelles aux savoirs et aux classifications des populations autochtones (Bromberger, 1986). L'intégration des savoirs locaux à une démarche scientifique a du se défaire des idées préconçues et des images négatives d'une paysannerie enfermée dans la tradition, incapable de comprendre ou de participer à une démarche scientifique (FAO, 2005).

De plus, il n'existe pas de statisme mais une évolution perpétuelle. Chaque savoir appartient à un environnement spécifique et sa transmission est complexe.

La transmission des savoirs peut être partagée ou réservée à une certaine catégorie de la communauté. Le niveau de connaissance et l'accès à l'information n'est pas le même au sein d'une communauté. La détention d'informations peut être liée au genre, à l'âge ou à la place dans la communauté. Des relations de pouvoir peuvent entrer en jeu dans le partage d'un savoir (FAO, 2005). Il est important de cibler la bonne catégorie de personne pour recueillir certains savoirs, comprendre la circulation des savoirs dans la structure sociale et l'organisation du partage de l'information. Ainsi, les approches économiques, sociales, systémiques, écologiques devraient être considérées (Rey, 2009).

Un des principes du PSE est la participation et l'adhésion volontaire au projet. Comment faire pour accéder exhaustivement aux informations si les personnes détentrices d'informations clés ne souhaitent pas participer (Doyon, 2005).

Les savoirs locaux posent le problème de la représentation. Il existe toujours un représentant et un représenté. Il y a dans la représentation une part de subjectivité. Elle reste une interprétation par la personne décrivant l'objet, elle peut être influencée par le vécu, les préconstruits et les habitudes culturelles. Il existe des représentations individuelles (issues d'un itinéraire de vie, d'une vision du monde particulière) et sociales (forme de connaissances ordinaires, socialement élaborées et partagées à visées pratiques comme la maîtrise de l'environnement, attitude et comportement collectif).

L'utilisation des savoirs locaux et le recueil des opinions renvoient aussi aux représentations de l'enquêteur, dans la retranscription de l'entretien et dans le vocabulaire utilisé. L'étude des représentations, le vocabulaire spécifique utilisé sont des données importantes pour une meilleure analyse et une meilleure compréhension des entretiens (Friedberg, 1992).

La traduction de savoirs locaux en données scientifiques est inévitable lors du traitement des données dans nos cadres d'analyse occidentaux. Cela peut engendrer des problèmes d'interprétation.

Blanc-Pamard et al. (2008) montre la dichotomie entre savoirs locaux et scientifiques. Par exemple, la mise en forme de données locales sous forme de carte géographique. Les paysans sont habitués à une marge de manœuvre concernant la délimitation des parcelles. La mise en place d'un zonage voit les perceptions transformées en données GPS¹, cartographiées et figées. La carte présente alors des zones sans interrelation, les logiques paysannes ne sont pas retranscrites.

« Les recompositions s'inscrivent dans une organisation sociale du territoire, ce qui modifie les pratiques paysannes d'usage des lieux. Elles créent un territoire illisible, voire inintelligible, en quadrillant l'espace de limites par le biais d'une mise en normes techniques spatialisées et de zonages. » (Blanc-Pamard et al., 2008).

1.3.2.3. Intérêt des savoirs locaux par rapport aux sciences.

Les savoirs locaux apportent des informations sur les sociétés elles-mêmes et complètent ou questionnent les connaissances scientifiques et techniques (Forsyth et al. (1998), Marie et al. (2009), Rakotoson et al. (2010)).

Gadgil et al. (1993) décrivent de nombreux exemples de systèmes agricoles, ne faisant pas l'objet de projet de conservation et présentant des systèmes écologiques durables. Au Brésil, à Hawaï ou en Chine, ces écosystèmes contiennent des types d'espèces bien plus diversifiés que nos systèmes de production contemporains largement appuyés par la recherche scientifique.

Rakotoson et al. (2010) montrent l'importance de relativiser mutuellement les savoirs locaux et les connaissances scientifiques. Cela permettra d'identifier des domaines de savoirs consensuels et de travailler sur les différences qui sont révélatrices d'ignorances et d'erreurs. Les populations autochtones ayant toujours vécu dans leur milieu, souvent peu ou mal connu des scientifiques, sont certainement les mieux placées pour en connaître la complexité et les caractéristiques. De plus l'expérience des individus et les savoirs faire sont en relation étroite avec la spécificité et la variabilité du milieu.

L'exemple du projet de développement durable des ressources côtières MASOREC² à Cuba (Doyon, 2005) montre que les données scientifiques sont encore très largement favorisées. Ce projet ne repose que sur des données scientifiques dans un contexte politique particulier. Le régime socialiste cubain a poussé pendant longtemps les populations à délaisser leurs techniques et leurs savoirs sur l'agriculture de subsistance. Les savoirs ancestraux se sont alors perdus. L'Etat a continué à prôner des valeurs et objectifs nationaux qui ne laissent pas la place au développement de techniques propres aux individus adaptées à un milieu spécifique. Depuis peu, un phénomène de résilience des populations est observé à Cuba. Les costaricains se réapproprient des savoirs afin d'exploiter les ressources locales qui font suite aux crises politiques. Doyon (2005) montre que les données scientifiques qui ont régi les projets de développement pendant plusieurs décennies auraient pu entraîner une perte totale des savoirs des populations. Pourtant, ce phénomène de résilience montre bien que les savoirs ne se perdent pas réellement et qu'il est donc d'autant plus important d'en tenir compte.

Outre leur coût, les données scientifiques ne sont pas toujours adaptées aux milieux d'étude. Ainsi, les populations des zones étudiées n'ont pas forcément les capacités et la croyance nécessaires en la science. Comment faire accepter des projets comme des aménagements de territoire si les populations n'ont pas foi en la définition scientifique

¹ Global Positioning System (Système de positionnement mondial).

² *MAnejo SOstenible de los REcursos Costeros.*

élaborée ? Les solutions proposées peuvent être loin des pratiques et coutumes locales si elles ne sont pas étudiées (Moller et al., 2004).

« Pour citer Roué Marie et Douglas Nakashima, la pensée empirique est systémique alors que la pensée scientifique tente difficilement de l'être : « Alors qu'il nous a fallu attendre que la science occidentale souffre de sa trop grande compartimentation pour envisager une construction de l'objet qui prenne en compte l'ensemble des disciplines nécessaires à sa compréhension, les savants locaux que sont les experts autochtones ont d'emblée une vision intégrée et systémique du fonctionnement des écosystèmes dont ils se considèrent comme partie prenante » (2003, p. 31) » (Barthélémy, 2005). Enfin, faire appel aux savoirs locaux rend les relations entre acteurs moins dissymétriques. Blanc-Pamard et al. (2008) analysent l'intégration des transferts de gestion par les populations. Il en ressort que les données scientifiques sont utilisées pour faire preuve d'autorité et sont en situation de monopole par rapport aux savoirs locaux ou profanes.

1.4. Bilan de l'état de l'art.

Bien que les savoirs locaux semblent apporter des informations nécessaires, les données scientifiques sont encore privilégiées dans des contextes plus globaux et permettent de généraliser plus facilement des résultats (Moller et al., 2004).

L'acquisition de données et de connaissances du contexte est le coût de démarrage d'un PSE le plus cher (Mayrand et al., 2004). Un PSE efficace sous-entendrait un suivi de l'évolution du milieu. L'effectivité ne sera pas assurée si les données sont incomplètes. La récolte de données scientifiques et leur traitement dans le cadre d'un service hydrologique ont un coût en temps et en argent important. Nous pouvons alors nous demander comment ce type de démarche peut être diffusable pour d'autres projets de mise en place de PSE. La récolte de données scientifiques n'est pas réalisable en termes de coût et de temps pour un projet de PSE orchestré par des ONG.

Intégrer savoirs locaux et données scientifiques peut être un bon compromis entre coût et temps et peut permettre la reconnaissance mutuelle des « bénéficiaires » et des « fournisseurs ».

La gestion des informations récoltées est importante et ce à toutes les étapes d'un projet pour que les relations entre acteurs soient bonnes. C'est une étape déterminante d'un projet que les données soient scientifiques ou des savoirs locaux. La collecte des données nécessite de l'enquêteur d'être le plus objectif possible et de considérer les biais de langage à la traduction. Le traitement des données permet de retranscrire l'information récoltée et ce, le plus précisément possible. Le cadre d'analyse doit éviter de transformer les données obtenues afin que les résultats soient complets et cohérents (FIDA, 2009). De plus, il est important que les informations soient accessibles à tous les acteurs clés car l'introduction d'un coût d'acquisition remet en cause l'avantage des PSE comme outil de gestion de l'environnement par rapport à d'autres. Outre les acteurs clés, la population, en lien indirect avec le PSE, peut être informée pour démontrer l'utilité des différentes investigations entreprises (réunions, enquêtes, mesures...).

A un autre niveau, le partage, la valorisation et la vulgarisation des données (savoirs locaux ou scientifiques) sont aussi importants que la démarche de récolte. Valorisation et vulgarisation font partie intégrante de la recherche, n'importe quel résultat scientifique aussi pointu et exhaustif soit-il ne vaut rien sans sa diffusion auprès des populations concernées. La restitution fait également l'objet d'une réflexion approfondie pour permettre la compréhension et l'assimilation des résultats afin qu'ils soient intégrés aux modes de gestion (FIDA, 2009).

Le suivi du SE est un élément clé de la durabilité du PSE. Ainsi, les méthodes de récoltes de données doivent être simples et abordables afin de permettre de suivre durablement l'évolution du milieu.

La gestion des données issues d'observations ou des savoirs locaux dans un modèle mathématique est réalisable. Des précautions doivent tout de même être prises pour ne pas totalement transformer les données. De plus, le suivi doit être accessible aux populations pour leur permettre de le comprendre et de le réaliser (Moller et al., 2004).

Barthélémy (2005) cite des auteurs tels que Moller et al. (2004) évoquant le « co-management » ou « adaptative management » concernant la participation commune entre dirigeant de projet et population locale pouvant être effective dans le domaine de l'environnement.

En conclusion, nous pouvons noter les limites de l'information scientifique (controverses et incertitudes) dans le cadre d'une application locale et les problèmes d'appropriation par les populations. L'universalité de l'information scientifique permet une diffusion large de résultats mais ceux-ci sont parfois peu adaptés au contexte local des études menées. D'autre part, les biais sociologiques et culturels, les difficultés de récoltes et la faible représentativité des savoirs locaux posent leurs limites. Apparaît alors la nécessité d'une synthèse entre données scientifiques et savoirs locaux afin d'assurer la pertinence et la pérennité d'un projet.

2. OBJECTIFS ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE.

2.1. Contexte du projet.

Le site de la commune de Tolongoïna a été repéré par USAID¹, au travers du Programme ERI (*EcoRegional Initiatives*), en 2005. Il est apparu comme potentiellement intéressant pour le développement de l'hydroélectricité. L'étude complémentaire réalisée par le Gret en 2006, a confirmé cette hypothèse et intégré la commune de Tolongoïna aux sites pilotes du programme rHYvière.

La philosophie du PSE de Tolongoïna part de la volonté du Gret d'intégrer la notion de développement socio-économique et technique dans son projet d'électrification rurale.

La spécificité du site de Tolongoïna est d'être situé non loin du corridor de Ranomafana, zone de grande biodiversité. Selon le programme ERI, les projets d'hydroélectricité sont idéals pour appuyer le discours de l'eau étant produite par la forêt tout en permettant de mettre en place des solutions de développement des populations. La nécessité de gérer durablement le bassin versant tant au niveau technique qu'humain est donc apparu au sein du Gret. Il recherche ainsi un outil permettant d'assurer la viabilité du projet au sein des populations rurales concernées et la durabilité des infrastructures.

Cette recherche de durabilité pour l'entrepreneur, l'investisseur et les usagers de l'électricité, ainsi que le souhait de qualité environnementale du projet et l'absence de conflits sociaux, ont fait opter les promoteurs pour un dispositif « PSE ». Une étude de faisabilité sur la mise en place d'un PSE a alors été menée par le Gret (Toillier, 2009b). La mise en œuvre d'un projet de « PSE-eau » nécessitait, au préalable, de discuter de l'impact potentiel de l'utilisation des sols sur les quantités et les qualités des eaux qui vont être turbinées afin de garantir la pérennité des infrastructures et de procéder à la mise en place de divers scénarii d'évolution.

¹ United States Agency for International Development (Agence des États-Unis pour le développement international).

Les savoirs mobilisables permettant de discuter d'un tel impact sont les savoirs livresques, les savoirs des résidents du bassin versant et des usagers de l'eau, acquis par leur expérience personnelle, et une étude scientifique appliquée aux conditions locales. L'étude de la littérature concernant les savoirs locaux et leurs utilisations dans les projets de développement intégrés à des bases de données scientifiques conforte l'option du programme à travailler sur ces deux aspects concernant la définition du SE et à plus long termes du PSE.

La littérature sur le régime de l'eau et ses liens avec l'usage du sol sont abondants. Ils insistent sur l'importance du milieu climatique, topographique, géologique et pédologique dans le conditionnement de ce régime, le type de formations végétales apparaissant comme un facteur secondaire (Bruinsjeel, 2004). De plus ils ne fournissent pas de théories simples à appliquer à toute situation. Ils renvoient donc à la nécessité d'études locales.

Des savoirs locaux existent, cependant ils restent qualitatifs, et les avis relevés sont variables. Ils sont également faciles à manipuler tant les activités de sensibilisation, depuis les années 2000, mettent l'accent sur la relation forêt-eau. Leur mobilisation est toutefois nécessaire car rien ne remplace la longue expérience des riverains.

Une étude scientifique complète des relations entre usages des sols et qualités des eaux mobiliserait durant plusieurs années une équipe hydrologique. Son coût serait élevé, ce qui serait contradictoire avec la philosophie d'un PSE local, concernant un petit bassin de quelques km² et affectant à la population gestionnaire, l'essentiel des paiements.

De plus, les autres bassins cibles du projet rHYvière ne pourraient pas recevoir le même niveau d'observation car chaque cas doit être documenté pour favoriser une négociation saine entre les parties dont certaines connaissent mieux le bassin et les processus hydrologiques que d'autres.

Le contexte institutionnel malgache, étant dans une logique de développement de structures décentralisées tout en s'appuyant sur les besoins du développement durable, a permis l'émergence de l'outil PSE pour la gestion du bassin versant (BV) d'Andasy.

Les textes législatifs (Charte de l'environnement et le Code de l'Eau) posent les bases de la mise en place d'un PSE. De plus, la loi sur la décentralisation renforce l'importance du rôle des communes dans la gestion de la conservation et du développement rural. Dans la région Vatovavy-Fitovinany, plusieurs programmes ont développé des stratégies locales de gestion des ressources et les principaux dispositifs de gestion communautaires (transferts de gestion type GCF ou GELOSE) sont mis en place (Toillier, 2009b).

Ainsi, l'originalité de l'étude, développée par le programme SERENA, est de mettre en place « une approche hybride » à la conception d'un outil PSE dans le cadre du développement de la filière hydroélectrique sur le site pilote de Tolongoïna.

La récolte de différents types de données, tant scientifiques que les savoirs locaux, a été effectuée au cours de différents stages réalisés par des étudiants depuis 2009. Cette accumulation de données permet d'avoir de nombreuses informations utiles à la définition du PSE.

2.2. Problématique.

Ce stage s'inscrit dans la suite des activités déjà conduites par le programme et les différents stagiaires. L'Etat d'avancement et les activités déjà réalisées seront présentés dans la partie 4 de cette section. L'axe d'étude est tourné vers le développement d'une démarche d'objectivation participative du SE et de la co-définition de l'outil PSE.

Par objectivation participative, le projet entend allier démarches scientifiques et appels aux savoirs locaux et des travaux réunissant la population et les scientifiques. Ainsi, la problématique de ce mémoire s'oriente autour du questionnement suivant.

Quelle démarche scientifique adopter dans le cadre d'un PSE « eau » local ? Comment intégrer les savoirs locaux et la population dans une démarche de construction de PSE ? A quel niveau les savoirs locaux sont utiles ou indispensables et à contrario à quel niveau les savoirs scientifiques sont indispensables ? Quel doit être le modèle d'utilisation des informations obtenues ?

La partie terrain de ce stage à Madagascar a permis de travailler sur la récolte de données tant scientifiques que les savoirs locaux et de mener des restitutions et des confrontations de points de vue. Ce mémoire présente les résultats obtenus et la démarche entreprise. En dernière partie la discussion portera autour de la méthodologie employée et les recommandations pouvant être faites autour de la démarche de construction du PSE.

II Cadre de l'étude et méthodes

1. LE PSE DE TOLONGOINA.

1.1. Commune de Tolongoina.

La commune de Tolongoina se trouve dans la région du Vatovavy-Fitovinany, au pied de la falaise séparant les Hautes Terres de la côte Est. Tolongoina est située en pays *Tanala* : « les habitants de la forêt ». La commune est à la lisière du corridor Ranomafana-Andringitra (Figure 2) qui fait l'objet d'une politique de conservation depuis les années 1990 (Parcs nationaux de Ranomafana et d'Andringitra, réserve du Pic d'Ivohibe, Corridor COFAV¹). La densité de population est de 97hab/km² en 2004 (Ministère de l'intérieur 2007) et 85% de la population de la commune travaille dans le secteur agricole.

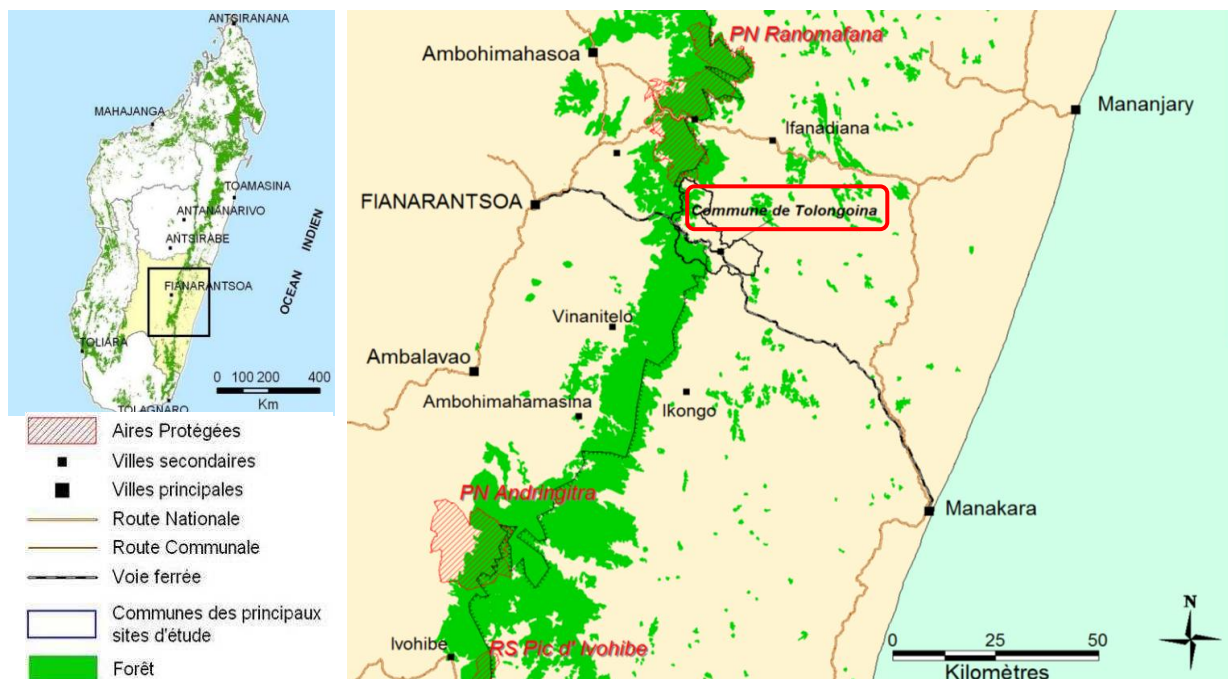


Figure 2 : Localisation de la commune de Tolongoina dans la région du corridor Ranomafana - Andringitra (Toillier, 2009b).

Tolongoina appartient au district d'Ikongo, grande capitale du café à l'époque coloniale, et bénéficie d'être situé sur l'axe routier reliant Ikongo à la route nationale. La ligne de chemin de fer « Fianarantsoa à la côte Est » (FCE), reliant Fianarantsoa à Manakara, permet de désenclaver la commune et de bénéficier de ces axes pour le commerce et le passage de touristes.

Le projet de construction de la centrale concerne la commune de Tolongoina. Elle sera la seule commune à bénéficier de l'électricité. L'eau nécessaire au fonctionnement de la centrale provient d'une cascade en aval du bassin versant d'Andasy.

¹ Corridor forestier Fandriana-Vondrozo.

1.1.1. Climat et couvert végétal.

Traditionnellement, les bas de pentes sont forestiers ou agroforestiers et les hauts de pentes sont forestiers (Figure 3). Les pentes sont cultivées en riz, manioc, banane ou laissées en jachères.



Figure 3 : Couvert végétal forestier conservé en haut et bas de pente (J.C. Poussin, 2011).

Les données pluviométriques officielles (Météorologie nationale) donnent pour Tolongoina une pluie annuelle moyenne de 2900 à 3100 mm suivant les sources et les stations. Le climat présente des pluies fines et prolongées en saison « sèche » (mai à octobre) et de fortes pluies en saison chaude (novembre à avril). La zone est également touchée par une saison cyclonique entre janvier et mars.

La zone ne présente pas de période déficitaire en eau. Il est possible de caractériser ce climat de tropical humide sans saison sèche, qui correspond au climat de la forêt dense ombrophile.

1.1.2. Organisation sociale dans la région.

La population est d'origine *tanala*. Ce terme désigne une population malgache du Sud-est dont le mode de vie est fondé sur l'agriculture d'abattis brûlis et sur l'exploitation des ressources forestières comme complément. Tolongoina est située au centre de cette région *tanala*, il existe donc un lien avec les autres régions *Tanala* (nord et sud), *Betsileo* (à l'ouest) (Annexe I), et les régions côtières via la FCE.

Les chefs de village traditionnels sont les *Mpanjaka*¹. Il peut y avoir plusieurs *Mpanjaka*, chacun étant à la tête d'un lignage. Le mode de gestion de la terre s'effectue au sein de chaque lignage, c'est le *Mpanjaka* qui est responsable de la distribution des terres lors de l'installation d'un nouveau ménage, et qui officie en cas de nouveaux défrichements. Les terrains sont répartis par lignage et l'héritage est patrilinéaire (Toillier, 2009b).

1.1.3. Bassin d'Andasy.

Le bassin versant d'une superficie de 6,28 km² est situé à Madiorano, localité faisant partie de la commune de Tolongoina. L'altitude moyenne du bassin est de 1050m. Les bas-fonds représentent une très faible superficie du bassin qui est principalement constitué de thalwegs encombrés de roches. Le BV présente un relief relativement pentu avec des pentes allant jusqu'à 100°. Le réseau hydrologique présente 4 branches dont l'une concentre les

¹ Chef traditionnel des villages malgaches

aménagements agricoles entre 700 et 900 m d'altitude. Les autres branches sont plus difficiles d'accès, encore peu perturbées et à dominante forestière (Figure 4).

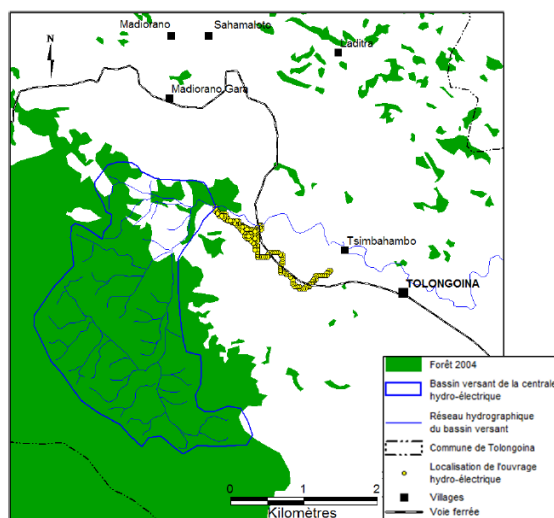


Figure 4 : Localisation du BV et de l'ouvrage hydroélectrique (Toillier, 2009b).

Pour notre étude, le bassin versant d'Andasy, d'une superficie totale de $6,28 \text{ km}^2$ ¹ a été découpé en deux sous bassins caractéristiques (figure 5) :

- un sous bassin forestier, noté pour le reste de notre étude BV 1, de $4,89 \text{ km}^2$
- un sous bassin agri-forestier, noté BV 2, de $0,91 \text{ km}^2$.

Des points de mesures ont été installés dans le BV par les équipes de l'IRD et du Gret pour les suivis hydrologique et climatique.

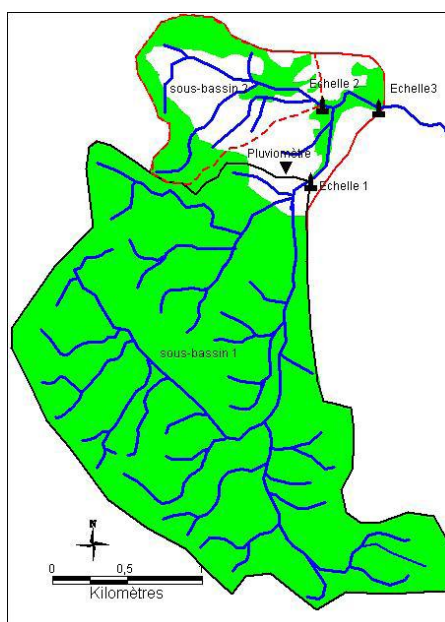


Figure 5 : Bassin d'Andasy, sous bassins expérimentaux et points de mesure (Moyen, 2010).

¹ La somme des deux sous bassin n'est pas égale au bassin total car il existe un troisième sous bassin. Il regroupe les différents points de mesure de l'étude.

1.2. Acteurs liés au PSE.

Le tableau 1 regroupe la liste des acteurs de la région concernés par le projet de PSE de Tolongoïna. Leur rôle est basé sur le scénario retenu dans l'étude de faisabilité de Toillier (2009b).

Acteurs	Rôles
<ul style="list-style-type: none"> • Les agriculteurs du BV (30 ménages) • Les décideurs en termes de répartition des terres forestières (<i>Mpanjaka</i>) • Les associations paysannes émergentes du BV 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs du SE (maintien de la régularité du débit, contrôle de la charge sédimentaire, limitation des crues et éboulement) • Changement des pratiques agricoles • Participation à la définition des SE et bases de proposition (savoirs locaux, suivis hydrologiques...)
<ul style="list-style-type: none"> • Les COBA ayant des GCF : celles de Tsimbahambo et Sahamaloto sont les plus concernées 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs de SE • Contrôle du respect des <i>dina</i> • Aide à la proposition de projets compensatoires
<ul style="list-style-type: none"> • La société SM3E 	<ul style="list-style-type: none"> • Bénéficiaires du SE • Mise en place et exploitation du réseau électrique
<ul style="list-style-type: none"> • La population de Tolongoïna et de Tsimbahambo (500 ménages : 2500 personnes) bénéficiant de l'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> • Bénéficiaires du SE • Paiement d'une taxe communale participant au paiement du SE
<ul style="list-style-type: none"> • La Commune de Tolongoïna 	<ul style="list-style-type: none"> • Maître d'ouvrage du projet d'électrification et du PSE • Collecte le financement du SE par le biais de la taxe communale sur le courant
<ul style="list-style-type: none"> • ONG et projets locaux (NODE, CI, <i>Ny Tanintsika, Tany maitso, Haona soa...</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation des projets compensatoires pour le BV • Interaction avec la recherche et les riverains pour définir les actions ciblées • Prestataire de service pour le suivi-évaluation du SE.
<ul style="list-style-type: none"> • Un Comité de Projet d'électrification (aval) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibiliser la population de Tolongoïna et de Tsimbahambo aux actions environnementales de conservation du BV pour la centrale • Sensibiliser la population aval sur le principe de PSE et donc sur la compensation • Informer la population en aval sur l'avancée du projet.
<ul style="list-style-type: none"> • L'Association des Usagers du Réseau Electrique (ASURE) de Tolongoïna et de Tsimbahambo 	<ul style="list-style-type: none"> • Représente les usagers de l'électricité • Surveille la qualité du service électrique reçu • Contrôle qu'une partie de la taxe communale soit versée pour la compensation des habitants du BV
<ul style="list-style-type: none"> • Les associations <i>Koloharena</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Aide à la proposition de projets compensatoires • Appuis techniques (formations) • Contrôle du respect des <i>dina</i>

<ul style="list-style-type: none"> • Le ministère des Eaux et Forêts malgache 	<ul style="list-style-type: none"> • Appui aux initiatives locales • Appui législatif par les transferts de gestion
<ul style="list-style-type: none"> • Le Gret 	<ul style="list-style-type: none"> • Initiateur du projet PSE • Sensibilisation du Comité de Projet, des habitants du BV, de la SM3E au dispositif de PSE • Recherche de financements additionnels (UE, FFEM¹...) • Sollicitation de la recherche pour documenter des scénarii
<ul style="list-style-type: none"> • L'IRD 	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche sur la quantification du SE et la gouvernance du PSE • Enquête de la population amont-aval pour les liens entre SE et modes d'usage du sol, pour connaître l'appropriation et le ressenti sur le projet PSE... • Appui au Gret dans l'objectivation du discours de SE

Tableau 1 : Liste des acteurs impliqués dans le dispositif PSE de Tolongoïna et leurs rôles (Source : Moyen, 2010).

1.3. Gouvernance du PSE.

La gouvernance du PSE concerne l'organisation des acteurs autour de la fourniture et du paiement du SE. L'étude de faisabilité du Gret (Toillier, 2009b) a identifié les acteurs concernés, les relations entre ces acteurs et les structures de gouvernances préexistantes (administratives et traditionnelles) concernant la gestion des ressources du BV, ainsi que les relations entre les populations en amont et en aval. Un schéma de gouvernance a pu être proposé (Figure 6). Il permet de spécifier les rôles, responsabilités et relations entre les différents groupes d'acteurs.

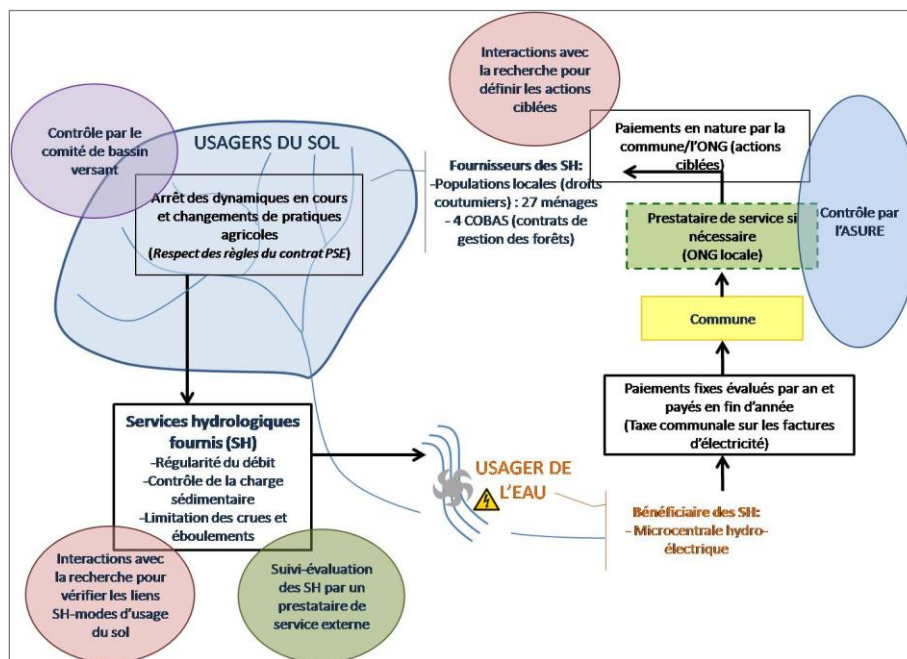


Figure 6 : Gouvernance du PSE : le rôle central de la commune (Toillier, 2009b).

¹ UE : Union européenne ; FFEM : Fond Français pour l'Environnement Mondial.

Le schéma de gouvernance donne un rôle central à la commune en tant que maître d'ouvrage du projet d'hydroélectricité. Le financement serait effectué par le biais d'une taxe communale sur les factures d'électricité des consommateurs. Une partie de cette taxe est affectée au financement de l'éclairage public, l'autre est allouée à la gestion du BV à la hauteur du montant fixé dans le contrat du PSE. L'activité de la commune serait contrôlée à la fois par le comité de bassin versant qui s'assurera que les activités prévues dans le schéma PSE sont bien mises en œuvre, par l'opérateur qui veut que son investissement soit préservé et utilisé à bon escient mais aussi par les usagers de l'électricité qui participent financièrement (via la taxe communale) à la gestion du bassin versant et qui sont représentés par l'ASURE¹.

Un bilan financier a été réalisé par le Gret. Une estimation des coûts du SE les premières années et la répartition de la taxe communale permet d'établir un bilan. Ce bilan financier (Annexe II) n'est positif qu'à partir de la 20^{ème} année d'exploitation de la centrale. Les charges de démarrage du PSE sont les plus importantes (les 3 premières années), un financement complémentaire au moins pour cette phase devrait être recherché.

Ce schéma reste encore à être validé, notamment par l'objectivation du service et les études socio-économiques. Suite à la validation (ou modification) du scénario de gouvernance, la planification de la mise en œuvre du PSE devra être établie :

- Echelonnage du coût des SE sur un certain nombre d'années (pas de temps des paiements et durée du contrat) ;
- Validation du plan d'aménagement du bassin-versant ;
- Mise au point de procédures de suivi et d'évaluation de la fourniture des SE ;
- Validation des rôles et responsabilités assignés aux différents groupes d'acteurs.

2. METHODES D'OBJECTIVATION DU SE.

Le travail de la campagne 2010-2011 a consisté en la vérification, confirmation et précision des résultats obtenus en 2009-2010. Les données hydrologiques et les modèles ont été complétés. Concernant les savoirs locaux, certaines données disponibles ont été traitées. Les savoirs locaux nous ont permis de nous aiguiller et de confirmer certains résultats de la démarche scientifique entreprise.

Dans cette partie du mémoire, nous exposerons donc la méthode employée tant au niveau hydrologique que la prise en compte des savoirs locaux dans la démarche de co-définition du service et de l'outil PSE. Les données hydrologiques de 2010 et de 2011 seront listées, ainsi que les méthodes de recueil et de traitement des données socio-économiques, les savoirs locaux et les différentes méthodes de restitutions auprès des acteurs.

2.1. Données hydrologiques disponibles.

2.1.1. Campagne de 2010.

En 2009-2010, 6 missions ont été réalisées afin de récolter des données sur le terrain du BV (Tableau.2).

La pluviométrie, les hauteurs d'eau journalières des cours d'eau ainsi que le jaugeage des débits ont permis d'obtenir de premiers résultats sur l'objectivation du SE fourni par les paysans du BV (Moyen, 2010). Les méthodes de recueil sont présentées en annexe III.

¹ Prévision de création d'une ASsociation des UsageRs de l'Electricité (ASURE).

septembre 2009	Mission d'encadrement : repérage du bassin et choix des sous-bassins
	Enquêtes socio-économiques auprès des paysans du bassin et sur leurs perceptions des SE et PSE
	Enquêtes sur les perceptions de l'érosion et sur les connaissances locales.
novembre 2009	Installation de matériel (pluviomètre et échelles sur trois stations de jaugeage), jaugeages, et formation d'un observateur de données journalières.
décembre 2009	Jaugeages et prélèvements d'eau.
mars 2010	Mission d'encadrement. Etude des effets du cyclone Hubert (11-12/3/2010), du maximum de crue, recalage des échelles détruites, mesure des sections, jaugeages.
avril 2010	Recherche de données climatologiques à Ranomafana.
juillet 2010	Jaugeages.

Tableau 2 : Calendrier des missions d'étude 2010 (Roche, 2011).

2.1.2. Deuxième campagne de données hydrologiques en 2011.

Quatre missions ont été menées en 2011 (Tableau 3). Le suivi des données récoltées en 2010 (pluviomètre et les échelles limnimétriques) et de nouvelles données permettent d'affiner les résultats de 2010.

janvier 2011	Mise en place d'un pluviographe, d'échelles « à maximum » et suivi de crues (suivi sur trois jours de données infra horaires)
mai 2011	Réunion de restitution des premiers résultats et contrôle des sections.
juin 2011	Réunion participative sur le développement de nouvelles filières agricoles et sur les perceptions du climat.
	Enquêtes auprès des acteurs de la région sur les alternatives possibles.
juillet 2011	Atelier participatif

Tableau 3 : Calendrier des missions d'étude 2011 et des réunions participatives (Roche, 2011).

2.1.2.1. Observations journalières.

- Pluviographe

Les données obtenues avec le pluviomètre sont complétées par les données du pluviographe RAINLOG[®] (acheté sur un site internet aux Etats-Unis). Le pluviographe est placé au même endroit que le pluviomètre à Andasy (Figure 7). Ce pluviographe enregistre les quantités de pluies tombées toutes les 5 minutes. Il permet de préciser l'intensité de la pluie. Le téléchargement des données se fait lors du passage des équipes du projet sur un ordinateur.



Figure 7 : Installation du pluviomètre et du pluviographe (Roche, 2011).

- Echelles à maximum

Les échelles à maximum permettent de connaître la hauteur maximale atteinte par le cours d'eau entre deux relevés quotidiens des échelles limnimétriques. Cette précision permet de savoir si des crues ont eu lieu entre deux mesures et leur hauteur, le phénomène de crue étant de courte durée et ayant souvent lieu la nuit. Elles sont de fabrication locale et conçues par G. Serpantié et A. Rakotonirina. Elles sont placées près des échelles limnimétriques dans les deux sous bassins (Figure 8).

Ces échelles sont constituées d'un axe carré, autour duquel sont soudées des cases parallélépipédiques échelonnées tous les cm. Le fond de chaque case comporte un orifice de vidange. Un bout de bois est placé dans toutes les cases émergées. Le matin, les cases vides sont relevées. La dernière case vide représente le niveau maximal atteint par l'eau depuis le relevé de la veille.



Figure 8 : A) Echelle à maximum du site 1. B) Echelles limnimétrique et à maximum du site 2 (Roche, 2011).

2.1.2.2. Suivi de crues.

Le suivi de crue réalisé en janvier 2011 par A. Rakotonirina consiste, tous les quarts d'heure, à observer le niveau de l'échelle simple et la largeur du courant principal, à prélever un échantillon d'eau avec un seau, et à récupérer avec une épuisette à mailles fines

d'éventuels charges grossières entraînées sur le fond. Cela nous permet d'étudier, lors d'une crue, le débit de ruissellement et la charge solide, issue de l'érosion du bassin.

Le contenu du seau est mélangé, 25 cL sont échantillonnés et placés dans un flacon, destinés à être filtrés sur un filtre à café taré. Après séchage à 85° pendant 24h, le filtre est pesé pour en déduire la teneur de l'eau en charge solide, à l'exception de la charge colloïdale.

L'épuisette est placée sur le fond pendant une minute. Son contenu éventuel est placé dans une enveloppe tarée. Après séchage et pesage, la teneur en charge de fond est calculée par multiplication avec la largeur du courant principal.

Ce suivi hydrologique fait participer des observateurs locaux et est associé à un recueil de savoirs locaux sur les phénomènes hydrologiques (la démarche de récolte des données sera expliquée ensuite).

2.1.3. Méthodes de traitement des données hydrologiques.

Au vue des données hydrologiques disponibles en 2011 et des résultats obtenus en 2010, il a été possible d'obtenir trois catégories de résultats : des « mesures-observations » comme les hauteurs d'échelle, des « mesures-calculs », les débits et des « mesures-modèles » comme le ruissellement. Ces différents résultats vont nous permettre de vérifier la validation des conditions de fonctionnement de la centrale hydroélectrique de la commune de Tolongoina.

2.1.3.1. Estimation du débit matinal.

Les relevés quotidiens des hauteurs d'échelle permettent de calculer un débit matinal. Le jaugeage des débits a été réalisé grâce à des mesures réalisées en 2010. Ainsi, une relation entre la hauteur du cours d'eau et le débit a été montrée (Annexe IV). Cette méthode paraît fiable pour les basses eaux mais l'allure de la courbe de jaugeage montre des incertitudes pour les hautes eaux. Ainsi, un test de cohérence par bilan d'eau a été effectué. De plus, la comparaison des débits matinaux des deux sous bassins a permis de tirer des conclusions de la réaction des sous bassins concernant les phénomènes de crues et de ruissellement.

2.1.3.2. Test de cohérence par bilan d'eau.

Le bilan d'eau nous permet de valider des données empiriques. Nous faisons le postulat d'une conservation de masse d'eau à l'échelle mensuelle. Ainsi, le solde « Précipitations-Evapotranspiration-Ruissellement » devrait être proche du débit matinal moyen à l'échelle mensuelle. Si c'est le cas, cela montre la cohérence de nos calculs et de notre démarche d'estimation.

L'évaporation a été estimée dans les deux bassins par ETP¹ Penman et calculé pour une station représentative (Ranomafana), située dans les mêmes conditions de relief et d'altitude que le bassin d'Andasy, mais à 30 km au sud-est. Le test de cohérence par bilan d'eau est réalisé pour les deux sites et les deux campagnes de données.

2.1.3.3. Modèle de ruissellement.

L'interprétation des courbes de suivies de crues nous a permis de comprendre un peu mieux les phénomènes de ruissellement dans le milieu. Ajouté au débit matinal, le ruissellement nous permet d'obtenir le débit journalier.

¹ Evapotranspiration Potentielle.

Dans la région, les sols ferrallitiques rajeunis présentent des horizons de surface très perméables mais souvent, les horizons sous-jacents sont peu perméables. Cela ralentit le drainage. Les phénomènes de ruissellement sont alors principalement liés à un phénomène d'engorgement du sol, c'est-à-dire de saturation de l'horizon A (Rakotoson et al., 2010). En même temps une infiltration d'eau imbibe des couches plus profondes. Le ressuyage de ces couches se fait plus ou moins rapidement. Au cours d'une crue, la quantité d'eau qui s'écoule en plus de l'écoulement de ressuyage correspond à du « ruissellement ». Ce « ruissellement » est composé d'un ruissellement direct (de l'horizon A peu profond et engorgé principalement en haut ou bas de pente), d'un ruissellement retardé et d'un ruissellement hypodermique (ou de sub-surface) qui progresse dans les premiers décimètres d'un sol engorgé en forte pente. Le drainage (écoulement de base plus l'écoulement oblique) s'ajoute au « ruissellement » pour constituer la crue. Les crues observées nous permettent donc d'évaluer le ruissellement et les dynamiques de ressuyage.

Une recherche dans la littérature a montré que la modélisation empirique du ruissellement en fonction de la pluie, dans des situations comparables à la nôtre, est linéaire et comporte deux paramètres : $R=aP+b$ ¹ (Brand, 1997). Nous nous sommes documentés, avons fait une analyse critique puis choisi un modèle cohérent avec nos premiers résultats. Il est possible de transformer la formule : $R=a(P-PI)$, avec PI la pluie limite.

PI représente la pluie limite de ruissellement. Le coefficient a traduit la pente de la fonction de ruissellement.

Les mesures de ruissellement ont pu être confirmées grâce à un bilan d'eau. Cette modélisation du ruissellement permet d'estimer les débits journaliers qui peuvent alors être utilisés dans le modèle GR4j (Génie Rural à 4 paramètres Journaliers) afin de simuler l'impact de l'occupation du sol sur le débit à l'exutoire du bassin d'Andasy.

2.1.3.4. Modélisation GR4j.

En hydrologie, nous disposons de modèles empiriques qui considèrent un bassin versant comme un tout et qui relient le débit à l'exutoire à la pluie tombée sur le bassin et à l'évaporation. La fonction de transfert qui lie ce débit aux variables climatiques traduit les propriétés physiques du bassin en matière de pentes, de sols, d'occupations des sols et aussi de transferts vers les aquifères.

Au vu des nouvelles données récoltées, le logiciel STREAM², développé par l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) utilisé en 2010, n'a pas été utilisé en 2011. En effet, il apparaît que les ruissellements sont essentiellement liés à des phénomènes d'engorgement du sol alors que STREAM est un modèle événementiel à base physique dans lequel le ruissellement apparaît dès que la capacité d'infiltration du sol est inférieure à l'intensité de la pluie. De plus, l'enjeu se portait sur la modélisation des faibles débits et non sur les ruissellements.

En consultation avec l'équipe impliquée dans ce projet de recherche, nous avons décidé d'utiliser un autre modèle empirique développé par le Cemagref³, le modèle GR4j. L'objectif de cette modélisation sera de vérifier si les conditions de fonctionnement des turbines de la centrale sont remplies en faisant des hypothèses sur le couvert végétal du bassin.

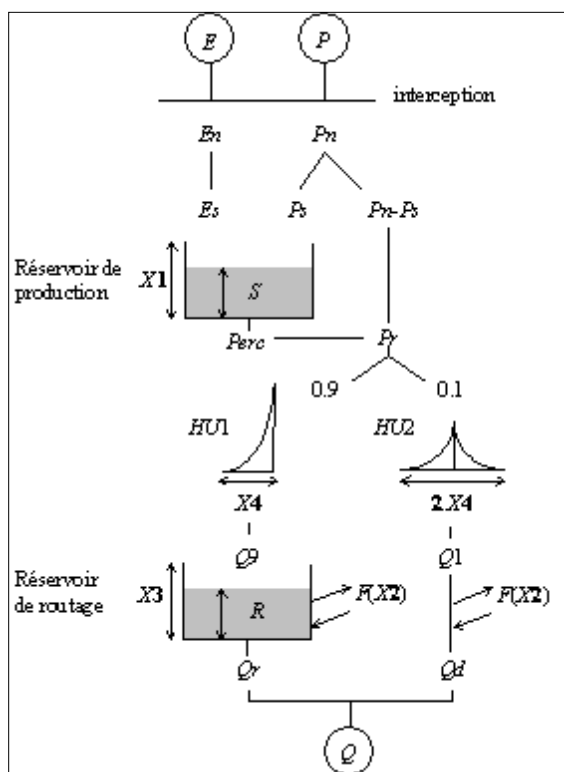
¹ R : Ruissellement ; P : Précipitations.

² Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management (impermeabilisation et transfert par le ruissellement et l'érosion en relation avec la gestion agricole)

³ Cemagref : institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement

GR4j¹ a été développé par une équipe du Cemagref, il a été progressivement amélioré par Nascimento en 1995, Edijatno en 1999 et enfin Perrin en 2003. L'architecture détaillée du modèle GR4J n'est pas présentée ici. C'est un modèle pluies-débit global à réservoirs. Etant en mesure de renseigner la date, les précipitations, les débits (dont la méthode de calcul et les tests de cohérence sont présentés dans les résultats) à un pas de temps journalier, ce modèle est apparu comme pertinent. L'annexe V présente l'interface du modèle GR4j sous Excel. GR4j s'appuie sur le principe des modèles à réservoir, développant des lois de vidange des différents réservoirs du sol pour approcher au mieux la simulation de la vérité, et ainsi modéliser les successions de remplissage et de vidange des différents réservoirs.

La figure 9 représente schématiquement le principe du modèle.



- x1 : Capacité maximale du réservoir de production (mm)
- x2 : Coefficient d'échanges souterrains (mm)
- x3 : Capacité maximale du réservoir de routage (mm)
- x4 : Temps de base de l'hydrogramme unitaire (j)

Figure 9 : Schéma conceptuel du modèle GR4j (Cemagref, 2003).

Ainsi, les précipitations nettes (P_n) arrivant au sol sont réparties entre un réservoir sol (S), P_s , et un réservoir plus profond (R), P_r . La répartition de la P_n est fonction du rapport $(S/A)^2$. (A = capacité maximale de S).

Le réservoir S a pour principale sortie l'évapotranspiration (E_s). Les percolations sous le réservoir S sont des écoulements retardés.

P_r est ensuite elle-même répartie par la fonction d'étalement donnée par un hydrogramme unitaire, de forme parabolique. Pour 90% P_r va vers R et pour 10% est écoulé directement par un débit Q_d . Cette répartition est arbitraire dans le modèle et ne peut être modifiée. Le réservoir R , à vidange quadratique libre le débit Q_r correspondant au ruissellement retardé. Le débit calculé, Q , correspondant au débit journalier est représenté par : $Q = Q_r + Q_d$.

Afin d'utiliser le modèle, un jeu de paramètre doit être calé. Les paramètres de calage du modèle traduisent l'état global du bassin. Si les paramètres sont différents pour les deux sous bassins, cela traduit une différence entre les deux bassins. Nous utiliserons les données de 2011, plus complètes, pour caler les paramètres. Les données de 2010 seront utilisées pour valider ces jeux de paramètres.

¹ Modèle hydrologique du Génie Rural à 4 paramètres journaliers.

Trois scénarii seront ensuite testés avec le modèle. Un scénario représentant l'état actuel de l'occupation du sol dans le bassin. Un scénario représentant le cas où le bassin deviendrait agri-forestier sur toute sa surface. Le dernier scénario serait le cas où le bassin d'Andasy serait en totalité reboisé. GR4j permettra dans chaque cas, à partir d'une série de données pluviométriques de modéliser les débits respectifs de chaque occupation du sol. Il sera alors possible de rendre compte du débit disponible à l'exutoire.

2.2. Acquisition et traitement de données qualitatives.

En plus des données hydrologiques, notre étude porte sur des données qualitatives (savoirs locaux et socio-économiques) nous permettant d'appréhender le contexte spécifique local. Différents types de données ont été récoltés puis traités. Ensuite, nos résultats ont été confrontés avec les acteurs du PSE en réunions collectives.

2.2.1. Traitements des données sur les savoirs locaux.

Différentes enquêtes ont été réalisées en 2010 par A. Rakotonirina concernant les savoirs sur l'hydrologie dans le bassin. Les paysans du bassin ont été interrogés individuellement à propos du ruissellement, de l'érosion et des crues à l'échelle parcellaire et à l'échelle des deux bassins. 17 paysans (chef de ménage) ont été interrogés sur la base du volontariat (Annexe VI). Une fois les résultats d'enquêtes regroupés dans un fichier Excel, nous avons pu en tirer les grandes tendances et effectuer une analyse statistique descriptive.

2.2.2. Construction d'une typologie des exploitations agricoles.

En 2009, des enquêtes, auprès de tous les ménages (33) ayant des terres dans le bassin, ont été réalisées par M. Raherisambatra. Elles portent sur les caractéristiques socio-économiques des exploitations agricoles (EA) et sur le système de production (Annexe VII). Elles aident à connaître en détail la constitution des ménages et des exploitations, ainsi que les systèmes de production mis en place par chaque ménage.

Ces données permettent de construire une typologie des exploitations agricoles. Cette typologie est d'abord construite à partir du fonctionnement des exploitations (caractéristiques du ménage, système de production, ...). Dans un deuxième temps, la configuration spatiale des exploitations est étudiée pour dégager des ressemblances au sein des types. Ainsi, la superficie des exploitations et la disposition des différents champs (regroupement, éclatement) ont été analysées. Elle a ensuite été utilisée comme porte d'entrée à l'atelier participatif d'aide à la co-conception de l'aménagement du bassin versant d'Andasy.

La base de données, constituée à partir des réponses aux enquêtes socio-économiques, a été traitée grâce à une analyse des correspondances multiples. Elles permettent de mettre en relation les variables utilisées et d'établir des corrélations entre les différentes variables qualitatives : les caractéristiques socio-économiques, agricoles, démographiques des ménages. Des groupes d'exploitation ayant des ressemblances dans leur fonctionnement ont pu être établis. Ensuite, grâce au logiciel Map Info chaque groupe établi a pu être analysé en termes de configuration spatiale. La configuration de l'exploitation permet de repérer des similitudes ou des différences visuelles entre les exploitations. Les groupes ont alors été réajustés en fonction de cette variable.

Une première analyse rapide avait permis de différencier les exploitants planteurs des salariés divisant les paysans en deux grands groupes. Grâce à cette nouvelle analyse, il est possible d'affiner ces résultats. Les scénarii qui seront proposés, seront plus adaptés et plus proches des attentes des paysans car tous n'auront pas les mêmes besoins. Il est alors possible d'imaginer un système de compensation différent selon les groupes de la typologie. Même si

les paysans réclament quelque chose d'homogène, nous devons leur montrer que tous n'auront pas les mêmes efforts à fournir.

2.2.2. Recueil et traitement de données socio-économiques.

2.3.1.1. Enquêtes auprès des acteurs de la région.

Différents entretiens dans la région de Fianarantsoa, de la haute Matsiatra, et du Vatovavy Fitovinany ont été réalisés. Nous avons interrogé différents acteurs tels que des ONG, les représentations régionales, les associations de *Koloharena* (Annexe VIII). L'enquête a porté sur les activités développées par l'institution dans la région de Tolongoïna et sur les résultats de ces interventions (Annexe IX). Nous avons pu élaborer une liste, non exhaustive, des actions mises en place et leurs résultats dans la région.

2.3.1.2. Enquêtes « filières ».

Des enquêtes auprès des acteurs de la commune de Tolongoïna, des producteurs et vendeurs sur les marchés de Madiorano et de Tolongoïna ainsi que l'expérience des paysans ont été consultées à propos des filières pouvant être éventuellement développées dans le bassin (Annexe X).

Ces enquêtes ont été réalisées en complément de celles des acteurs de la région afin de servir de base de réflexion à l'élaboration d'alternatives pertinentes concernant les activités et aménagements pouvant être développés dans le bassin. Notre analyse s'est basée sur la faisabilité des activités en termes de coût, de calendrier cultural, de résultats établis dans la région. De plus, les contextes climatique et pédologique ont été pris en compte et confrontés aux expériences des paysans.

Cette liste d'activités dont le choix est raisonné, permettra de formuler des projets d'appui au développement garantissant la fourniture des SE. Les coûts associés permettront de chiffrer le coût des SE. Ils seront ensuite soumis et discutés par le Gret avec la commune et l'opérateur privé, lors des prochaines étapes de conception du mécanisme PSE.

2.3. Méthodes de restitution et de travaux participatifs.

2.3.1. Confrontation des résultats scientifiques aux savoirs locaux.

Les différentes études réalisées sur le terrain et l'accumulation de données depuis 2009 au travers des différents stages et missions, ont permis d'élaborer une base de données déjà conséquente. Afin de valider nos connaissances sur le milieu, nous avons voulu les présenter en réunion collective pour confirmer ou compléter nos connaissances.

Cela a consisté en :

- la validation du vocabulaire en lien avec le SE et le milieu du BV utilisé dans la région. Une analyse des différentes bases de données a permis de répertorier le vocabulaire utilisé et de le regrouper en 4 grandes classes facilitant la discussion (le sol, le relief, l'eau et l'érosion) ;
- la présentation des résultats tirés des enquêtes individuelles concernant la perception des paysans sur le ruissellement, l'érosion et les crues ;
- la présentation des grands résultats sur l'hydrologie du mémoire de Moyen (2010) et l'explication de la méthode ainsi que l'utilisation des savoirs locaux dans les résultats ;
- une esquisse de typologie des exploitations agricoles du bassin d'Andasy, réalisée à partir des enquêtes socio-économiques de M. Raherisambatra en 2009. Deux grands groupes sont définis, les salariés et les planteurs ;

La réunion collective a regroupé à Andasy les paysans, les représentants des *Koloharena*, le délégataire de la centrale, l'adjoint au maire et un représentant du Gret. Chaque présentation a été suivie d'une discussion demandant aux paysans de compléter certains résultats et de confirmer la véracité des résultats en fonction de leurs expériences individuelles et collectives.

2.3.2. Atelier participatif.

L'atelier participatif mis en place a été développé à partir de la méthode des « jeux de territoire » développé par Toillier (2009a). Nous nous sommes inspirés de cette méthode pour cette démarche mais l'aspect géographique n'a pas été conservé dans notre cas à cause de la petite superficie concernée.

Ainsi, sur la base de fonds de carte (Annexe XI) représentant le BV, il est possible de discuter de la mise en application de différentes alternatives. L'objet de cet atelier est donc de discuter par type d'EA des alternatives agricoles pouvant être mis en place dans le bassin. Chaque type, en fonction de ces caractéristiques, est alors à même de discuter des points de blocage qu'il rencontre, et des leviers (disposition en terre, accès facilités aux semences...) dont il dispose. La démarche détaillée de l'atelier est présentée en annexe XII.

Les objectifs de l'atelier participatif, au vu des activités déjà réalisées, sont :

- La présentation des résultats de la typologie et des propositions d'alternatives pour validation par types d'EA définis et l'exploration éventuelle d'autres pistes avec les paysans concernés :
 - Validation des itinéraires techniques et pratiques par type d'EA. Discussion autour des contraintes rencontrées par chaque type.
 - Validation socio-économique (formulation de points de blocage autres que d'ordre techniques, comme les problèmes d'investissement, la disponibilité en main d'œuvre, les possibilités de stockage et d'écoulement, ...)
- La synthèse au niveau du territoire du BV. Les zones « plus à risques que d'autres » dans les années à venir, notamment les zones avec risques d'intensification, d'érosion et de défriche ;

Dans le cadre de la mise en place du PSE, l'objectif global de cet atelier participatif est de réussir à :

- Identifier des activités qui garantissent le service. C'est à dire limiter l'érosion, maintenir une couverture du sol, éviter le raccourcissement des cycles culture-jachère, encourager l'agroforesterie...
- Identifier un ensemble d'activités compensatrices aux interdictions de défriches, de brûlis, d'utilisations des bords des cours d'eau à moins de 50 m (déjà prises depuis 2007) pour les différents types d'EA.

Afin de répondre aux attentes des paysans, cet atelier participatif doit permettre de restituer les résultats des nombreuses enquêtes et de discuter de l'aménagement du bassin. Concernant la commune, l'atelier participatif doit également permettre de présenter des scénarii d'aménagement du BV et les implications au niveau de chaque type d'EA avec des propositions de changements de pratiques et de systèmes de cultures.

Cet atelier participatif permet, en fonction des logiques paysannes, de mettre en évidence la façon dont les nouvelles activités proposées vont s'inscrire dans les stratégies des EA. Par exemple, certaines cultures seront adoptées par les paysans dans une logique de diminution de la période de soudure, d'autres dans une optique de diversification alimentaire, de développement économique ou de lutte antiérosive.

III. Résultats de l'étude

1. TRAITEMENT DES DONNEES HYDROLOGIQUES.

1.1. Résultats de 2010 et questions mises en exergue.

Les principaux résultats obtenus sont ceux concernant la modélisation des données hydrologiques et l'élaboration de scénarii de gestion (Moyen, 2010). Cette modélisation a été réalisée grâce au logiciel STREAM et à la suite un modèle empirique de débit a été développé. Les principaux résultats sont restitués ci-après.

Des ressemblances entre les deux bassins sont constatées :

- Les quantités d'eau qui s'écoulent en temps normal (par m² de bassin) sont à peu près les mêmes, également en saison sèche. La différence devrait être précisée.
- Les deux bassins ont subi de fortes crues de ruissellement lors du cyclone, mais les mesures ne permettent pas d'en savoir plus.

Il existe des différences entre les deux bassins :

- En 2009-2010 il y a eu 4 grands ruissellements dans le bassin agri-forestier et 2 dans le bassin forestier.
- Les ruissellements du bassin agri-forestier sont plus intenses.

Ainsi, l'occupation du sol a une influence sur les grands ruissellements. La forêt réduit le nombre et l'intensité des grands ruissellements dans le cas de pluies intenses (orages), et réduit un peu l'intensité en cas de pluie cyclonique (longues pluies).

Il nous est possible de conclure que le bon fonctionnement de la GCF par la COBA peut maintenir le rôle de la forêt.

Par contre, il n'y a aucun mode de gestion ni d'occupation du sol pouvant empêcher les crues dévastatrices cycloniques.

- Le service rendu par la forêt par rapport à un mode de gestion agri-forestier est donc la réduction du nombre et de l'intensité des grands ruissellements ;
- Le service rendu par les paysans dépendra du scénario d'actions retenu.

En fonction de ces résultats, deux scénarii peuvent être envisagés.

- le simple respect des règles de la GCF.

Le défrichement est stoppé pour que la couverture forestière actuelle dans le bassin soit maintenue. Cela a pour conséquence de diminuer les grandes crues intenses de ruissellement. C'est un bien pour le barrage. Les plantations de bananes sous forêt doivent être arrêtées pour éviter de transformer ces parcelles de forêt en plantation.

Si ce scénario est retenu, le PSE pourrait alors :

Fournir un appui à la COBA pour assurer le bon fonctionnement de la GCF et en faire respecter les règles par les paysans ;

Fournir un appui aux paysans pour pratiquer des techniques culturales intensives et innovantes, afin de pouvoir respecter les règles régissant l'exploitation agricole vis-à-vis de la GCF avec le moins de pertes économiques possibles.

- Reboisement massif des zones non forestières.

La surface non forestière du bassin étant très petite (10% de la superficie total du BV), il n'y aurait aucun intérêt en vue de réduire les grandes crues. L'effet sur le ruissellement serait très faible et donc inutile face aux conséquences sur les ménages du BV.

A ces conclusions s'ajoute cette année une nouvelle campagne de données hydrologiques (actualisation des bases de données et des modélisations, études supplémentaires des charges solides et du suivi des crues).

1.2. Traitement des données hydrologiques 2011.

Nos différents résultats hydrologiques sont tirés de l'analyse des données recueillies sur le terrain. Cette analyse est aussi réalisée grâce à différentes recherches de projets similaires dans la littérature et aux données récoltées auprès des paysans, permettant de nous aiguiller dans certains choix.

Cette année, l'enjeu a été d'estimer les débits journaliers afin de connaître le débit disponible pour la centrale en aval. Ainsi, selon l'étude du Gret, la centrale possède deux turbines fonctionnant avec 50 L/s chacune, soit un besoin de 100L/s. 7L/s sont attribués à l'environnement, afin de ne jamais assécher les cascades. Un minimum de 107 L/s est donc nécessaire pour le fonctionnement de la centrale.

1.2.1. Calcul des débits journaliers.

Dans un premier temps, les hauteurs des cours d'eau relevées chaque jour vont nous permettre de calculer les débits matinaux. La méthode d'estimation des débits matinaux par la relation hauteur-débit a été mise en place l'année dernière (Annexe IV). Cette méthode d'estimation a été vérifiée.

1.2.1.1. Vérification de l'estimation des débits matinaux.

Le jaugeage effectué grâce aux courbes de tarage permet d'évaluer des débits pour des hauteurs d'eau plutôt basse. L'incertitude est élevée sur le modèle hauteur-débit lorsqu'il s'agit du jaugeage des débits en hautes eaux. De plus, une part de la modélisation hauteur-débit repose sur des hypothèses comme l'estimation du coefficient utilisé dans la méthode du flotteur ou le choix du modèle de tarage. Il est donc nécessaire de mettre en place une démarche de vérification de la cohérence du jaugeage par bilan d'eau.

Les données concernant la pluie sont fournies par le pluviomètre, situé à la frontière des deux sous-bassins. La forêt ou les végétations proches (milieu arbustif) représentent la majorité des deux bassins. Nous considérons que le milieu évapotranspire selon l'hypothèse « ETM¹ (forêt) = ETP » en période pluvieuse. En revanche, lors des périodes sèches (soit à partir de plus de 5 jours sans pluie consécutifs), un coefficient ETR^2/ETM de 0,5 a été appliqué.

La comparaison fait apparaître qu'en 2010, les débits mesurés à partir de la formule hauteur-débit et ceux calculés par bilan d'eau correspondent, avec une tendance à la surestimation par la méthode des hauteurs. De même en 2011, lors des mois sans crues, la correspondance est correcte. Les périodes de recharge après la sécheresse de 2011 et les périodes pluvieuses ayant

¹ Evapotranspiration maximale

² Evapotranspiration réelle

présenté de nombreuses pointes de crues ont un débit mesuré par la hauteur matinale plus faible que le débit théorique, ce qui est conforme à ce que nous attendions.

La courbe de tarage hauteur-débit est donc acceptable tout en reconnaissant une incertitude d'au moins 15% sur les débits.

1.2.1.2. Analyse des débits et comparaison globale des sous-bassins.

Nous allons pouvoir analyser l'évolution des débits matinaux au cours des campagnes d'observation afin de confirmer la cohérence de nos observations et calculs.

La figure 10 montre la comparaison des débits matinaux dans les deux bassins et pendant les deux campagnes de suivi. Pour cela, nous ramenons les débits matinaux observés en L/s à la surface de chaque sous bassin pour obtenir des débits spécifiques en mm/h

Le suivi de la hauteur d'eau montre des variations du niveau de l'eau. Pourtant, l'essentiel des crues dans cette zone est nocturne car les pluies tombent en majorité en fin d'après-midi et début de soirée (données du pluviographe). Les données matinales relevées correspondent donc à un niveau de l'eau en phase de ressuyage du sol. Pour des cas plus rares comme en cas de cyclone, l'observation matinale¹ correspond non pas à une phase de ressuyage mais bien à une crue. Des débits largement supérieurs en bassin agri-forestier, plus petit, sont observés en comparaison aux débits du bassin forestier. Cela peut être expliqué de deux manières ; soit par une arrivée de crue plus précoce dans le bassin agri-forestier, soit par des débits effectivement plus élevés dans ce bassin.

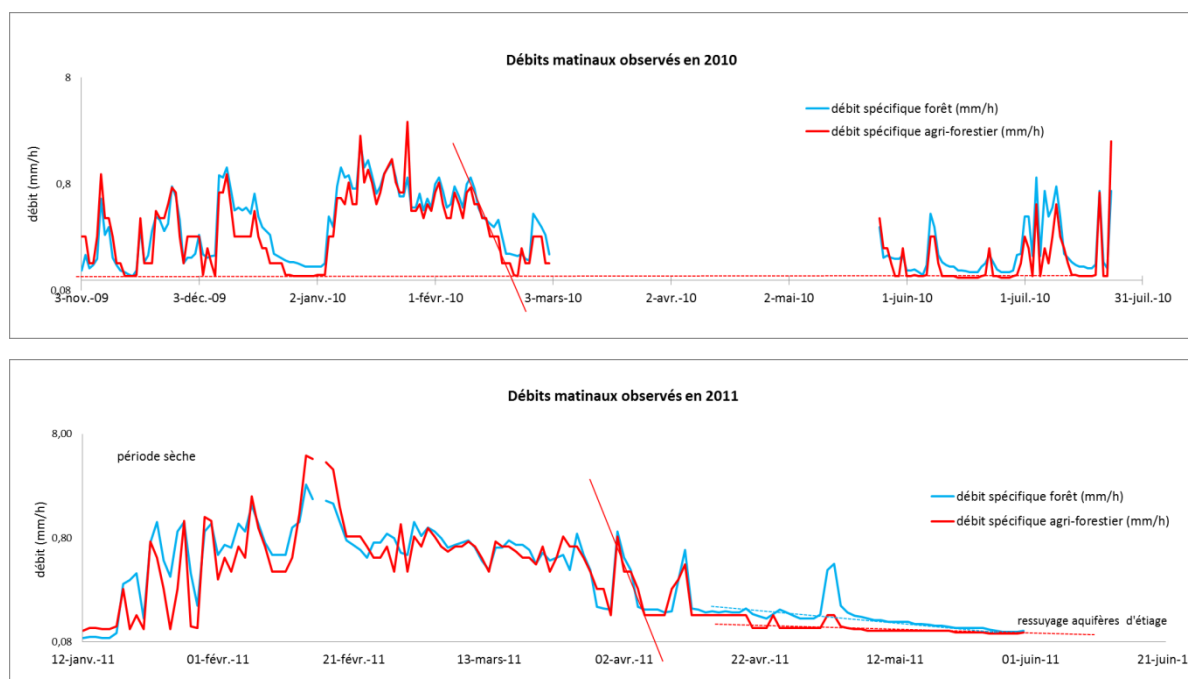


Figure 10 : Débits matinaux durant les campagnes 2009-2010 et 2010-2011 (Serpantié, non publié).

Ces graphiques permettent de repérer les courbes de tarissement (Figure 10, droites en rouge). Le tarissement correspond au débit d'un cours d'eau en phase de décroissance intervenant après une phase de crue. Ce tarissement s'effectue de manière exponentielle. L'analyse de ces courbes exponentielles étant délicate, il est plus aisé de passer en coordonnées semi-log (Figure 11 , a.).

¹ L'observation directe du débit étant trop dangereuse, la hauteur est estimée par l'état de la végétation

III. Résultats de l'étude

Deux types de courbes de tarissement sont observables. En coordonnées semi log, une droite de tarissement à forte pente (Figure 11, b.) sur quelques jours marque le ressuyage oblique plutôt rapide d'un réservoir peu important (environ 60mm). Nous faisons l'hypothèse que le ressuyage oblique correspond à la vidange du sol de surface (situé entre 0 et 40 cm). Ce réservoir à remplissage et vidange rapide peut être associé aux couches supérieures du sol (Horizon A) très poreuses et perméables au-dessus des couches B ou C moins perméables. Ceci concorde avec leur contenance de l'ordre de 70mm au-dessus de la capacité au champ. Elles se remplissent pendant la pluie puis se ressuient en quelques jours (de l'ordre de 4 à 5j). La loi de ressuyage rapide est une exponentielle de type $Q=Q_0*(1-e^{-0,5t})$.

Une autre courbe de tarissement à pente faible (Figure 11, c.) relaie la précédente. Son réservoir est plus important, son ressuyage et son remplissage sont lents. Il s'agit vraisemblablement de la partie des altérites au contact de la roche qui reçoit un drainage vertical à partir des milieux les plus filtrants.

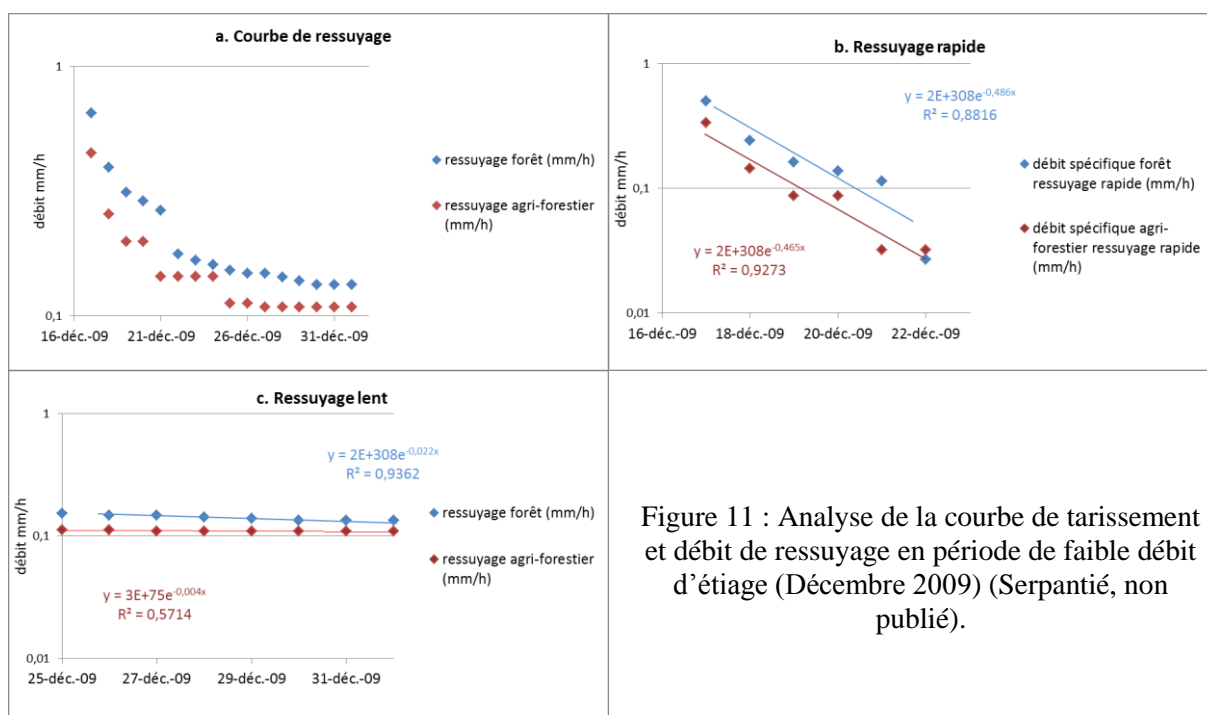


Figure 11 : Analyse de la courbe de tarissement et débit de ressuyage en période de faible débit d'étiage (Décembre 2009) (Serpantié, non publié).

Les débits spécifiques ainsi que les débits cumulés des deux sous bassins sont ensuite comparés (Figure 12 et 13) afin de mettre en évidence la différence de réaction des deux sous bassin en fonction des hauteurs de pluies relevées.

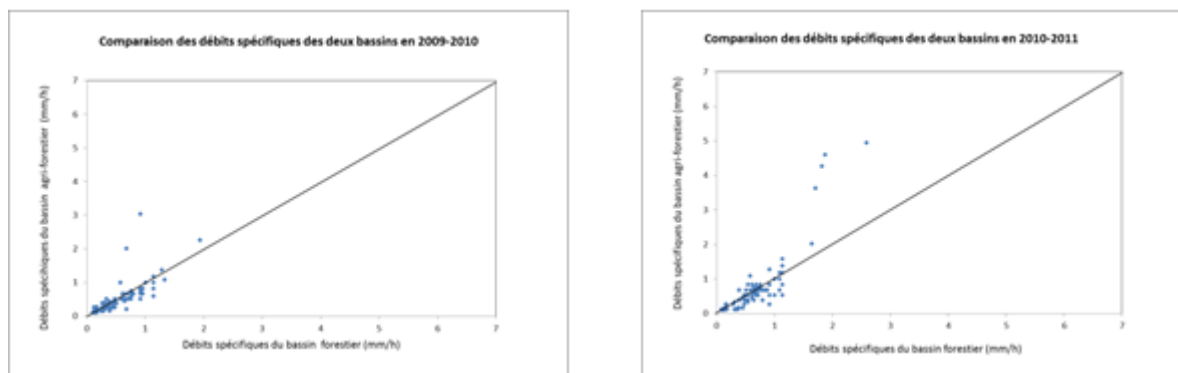


Figure 12 : Comparaison des débits spécifiques journaliers calculés par la méthode des hauteurs (La diagonale matérialise $Q_1=Q_2$) (Serpantié, non publié).

III. Résultats de l'étude

A l'exception de quelques points indiquant le passage de crues plus rapides ou supérieures dans le bassin agri-forestier, les débits sont comparables dans les deux bassins ou généralement inférieurs dans le bassin forestier.

Les résultats de l'année dernière faisaient l'hypothèse que l'écartement des points rendait compte de ruissellement dans le bassin agri-forestier non retrouvé dans le bassin forestier. Les ruissellements en bassin forestier ne seraient pas moins nombreux mais moins importants. Plus vraisemblablement, il est possible que les bassins ne réagissent pas en même temps. Les points décalés seraient alors plutôt des crues passant au moment de la mesure matinale. Les résultats de l'analyse infra-horaire reprise dans la partie suivante vont permettre de définir si il existe réellement une différence de réaction entre les deux bassins.

En calculant les débits cumulés dans les deux bassins, il est possible de visualiser des différences d'écoulements cumulatifs entre les bassins. La méthode des doubles cumuls, qui consiste à vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations, a été utilisée.

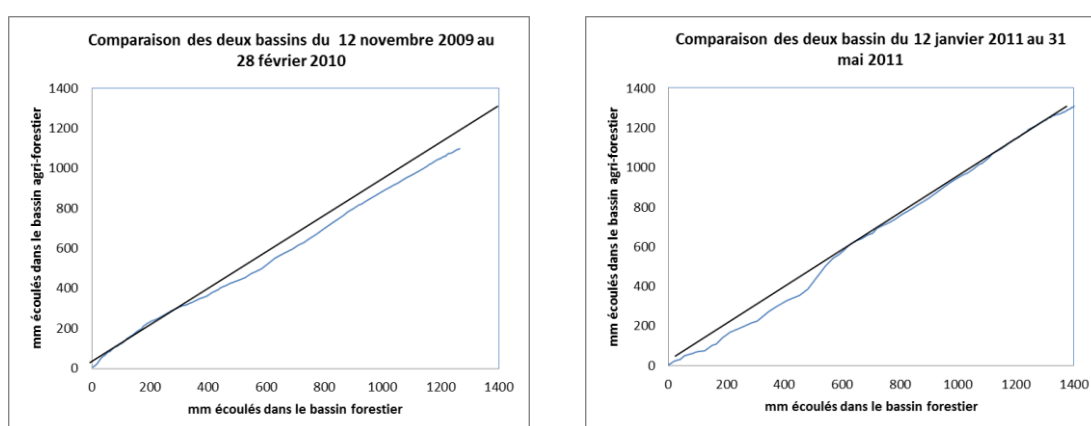


Figure 13 : Comparaison des écoulements cumulatifs par la méthode des doubles cumuls (Serpantié, non publié).

Une analyse des séquences pluviométriques montre que c'est pendant les périodes pluvieuses que les débits cumulés tendent à s'écarter, révélant une recharge plus importante des aquifères à débit rapide dans le bassin forestier. Le débit matinal moindre dans le bassin agri-forestier (tableau 4) est notable mais la différence entre les deux bassins reste faible. En revanche les étiages prononcés sont peu différents (Tableau 4). Les périodes initiales et finales à faibles débits sont peu divergentes.

L'effet « occupation du sol » sur les ruissellements se produit essentiellement en période très pluvieuse et semble concerner le stock de surface (0 à 40cm). Il y aurait un meilleur emmagasinement, une restitution rapide et à moyen terme de plus gros débits dans le bassin forestier. Le *tavy*¹ aurait donc un effet sur les étiages modérés, mais cet effet forêt ne va pas jusqu'à avantager les étiages prononcés.

En %	Ressuyage (pluie la veille)	Ressuyage (pas de pluie la veille)	Étiage normal (0,10 < Q < 0,15 mm/h)	Étiage prononcé fin saison (≤ 0,10 mm/h)	Période de réhumectation	Crue (pluie matin)
2010	-17	-18	-16			+213
2011	-12	-8	-18	-5	-21	+122

Tableau 4 : Différences relatives en % des débits matinaux entre le bassin agri-forestier et le bassin forestier en fonction des cas (Serpantié, non publié).

¹ *Tavy* : brûlis en malgache.

1.2.2. Erosivité des pluies

L'érosivité des pluies va nous permettre d'effectuer un classement des pluies les plus agressives pour le milieu. Cet indice est essentiellement lié aux caractéristiques de la pluviométrie. Il permet d'évaluer l'agressivité de la pluie (lié à son intensité) sur le milieu. Le potentiel d'érosion de la pluie peut être exprimé d'après la formule de Wischmeier (1978) pour calculer l'indice d'érosivité R_{usa} de Wischmeier (1971).

R_{usa} est égal à E , l'énergie cinétique des pluies, que multiplie I_{30} (l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure). L'indice peut être exprimé par mois, saison ou année en additionnant les valeurs journalières.

L'érosivité annuelle est faible si $R_{usa} < 400$; moyenne si R_{usa} est comprise entre 400 et 600; forte si R_{usa} varie de 600 à 900 et très forte si $R_{usa} > 900$ (Rakotonirina, 2006).

La figure 14 regroupe les valeurs de R_{usa} journalière d'Andasy pour les données de 2011. Le suivi journalier des pluies réalisé à Andasy permet de calculer un coefficient d'érosivité climatique R_{usa} de 1535 sur une période de 6 mois. C'est une valeur très élevée puisque la valeur annuelle pour Ranomafana en 2010-2011 est de 924.

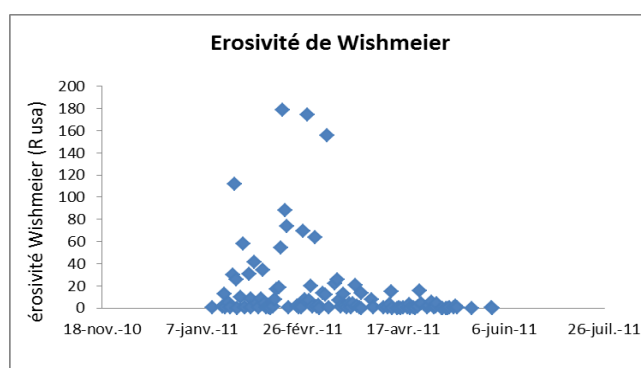


Figure 14 : Erosivité des pluies à Andasy en 2011 (Serpantié, non publié).

Il est alors possible de comparer le cumul journalier des pluies et l'intensité maximale pour effectuer un classement des pluies érosives et celles peu érosives (Figure 15).

Des études à Madagascar (Brand et al., 1997) établissent la limite de ruissellement à 25-30 mm. La figure 15 montre que les pluies érosives sont généralement des pluies supérieures à 30 mm et dont l'intensité est supérieure à 30 mm/h., ce qui confirme une définition des pluies érosives à partir des seuils combinés de 30 mm – 30 mm/h.

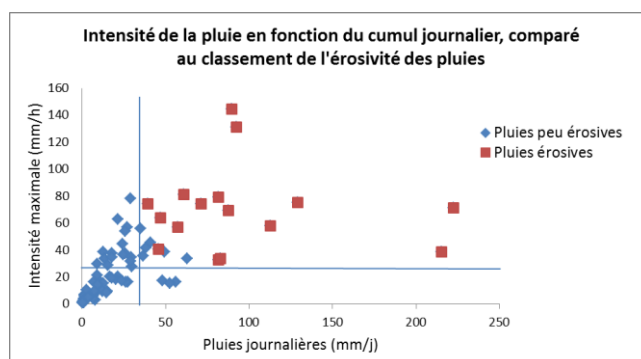


Figure 15 : Classement des pluies érosives et peu érosives comparé à l'intensité maximale et au cumul journalier en mm/j (Serpantié, non publié).

1.2.3. Analyse du suivi de crues.

L'analyse des débits à une échelle infra horaire va permettre de prendre en compte les crues et d'analyser ces phénomènes afin de mieux comprendre le phénomène de ruissellement dans le bassin. De plus, nous allons pouvoir mettre ou non en évidence cette différence de réaction en fonction du bassin citée dans la partie précédente. Cette analyse est permise grâce aux suivis de crues réalisés lors de la mission de janvier 2011.

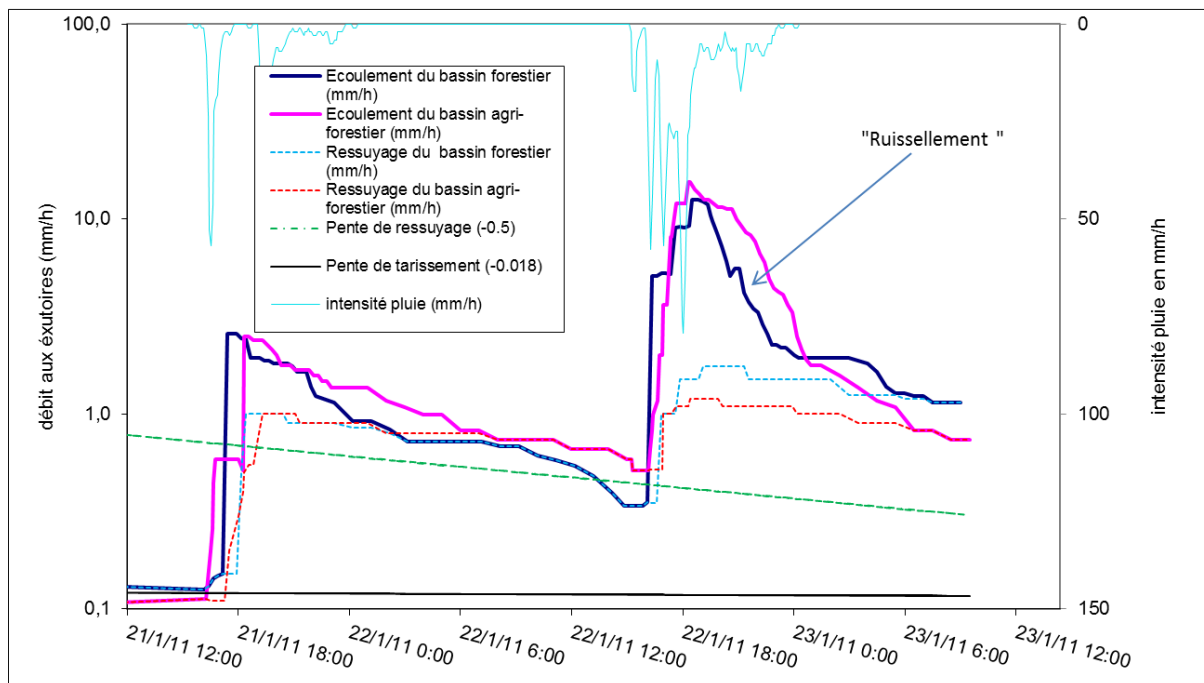


Figure 16 : Hydrogramme au pas de temps 15 min du 21/01/2011 au 22/01/2011 (Serpantié, non publié).

1.2.3.1. Analyse infra-horaire de crues après des pluies de forte intensité.

L'hydrogramme (Figure 16) reprend deux pluies représentatives des pluies érosives (le 21 janvier 2010) et des pluies très érosives (le 22 janvier 2010). Les écoulements ont ici deux composantes : l'une appelée le « ruissellement » et l'autre, le ressuyage. Ces dernières s'ajoutent pour constituer la crue.

Le « ruissellement » est composé d'un ruissellement direct (de l'horizon A peu profond et engorgé principalement en haut ou bas de pente), d'un ruissellement retardé et d'un ruissellement hypodermique (ou de sub-surface) au sein des premiers décimètres d'un sol engorgé.

L'hydrogramme permet d'estimer ce « ruissellement ». Il correspond à la différence entre le débit total et le débit de ressuyage, qui est modélisé à partir des courbes de décrue observées sur plusieurs jours successifs sans pluie. La pente moyenne de cette courbe est de -0,5 en phases de décrues à drainage latéral des sols et de -0,02 en phase de tarissement alimentée par les aquifères d'altérations (Figure 16).

Date	Pluie 24h (mm)	Imax en 15mn (mm/h)	Erosivité Wis-meier (R usa)	Ecoulement total en 24h (mm)		Ruissellement direct + hypodermique (mm)		Charge solide maximale en suspension (g/L)		Charge solide cumulée (t/ha)	
				forêt	agri-forêt	forêt	agri-forêt	forêt	agri-forêt	forêt	agri-forêt
21/01	57,3	57	30	19,5	20,9 (+7%)	5,4	7,3 (+35%)	0,92	1,04 (+13%)	0,07	0,08 (+14%)
22/01	129,0	79	112	65,3	80,5 (+23%)	39,1	59,3 (+52%)	3,60	3,48 (-3%)	1,26	1,78 (+41%)

Tableau 5 : Caractéristiques des pluies écoulées (Serpantié, non publié).

L'analyse de ces deux crues nous montre, d'après le tableau 5 :

- Un « ruissellement » (R) significatif sous forêt. Le taux R/P est de 9% en pluie érosive sur sol sec et 30% en pluie très érosive sur sol mouillé. Une pluie très érosive a conduit (en présence de fortes pentes, d'un sol à horizons peu perméables sous un horizon A mouillé la veille et de zones rocheuses en profondeur) à un « ruissellement » élevé sous forêt à l'échelle du bassin. L'étude des sols a montré que le seuil de 70 mm de pluie, sur sol mouillé à drainage ralenti, déclenche un ruissellement avec ou sans forêt (Rakotoson et al., 2010). Mais la forêt peut tout de même jouer un rôle modérateur (interception, macroporosités...) de ce processus par rapport à un milieu herbacé.

- Le bassin agri-forestier ruisselle plus. Il présente des taux de ruissellement supplémentaires de 35% et 52% par rapport à la forêt. Ce supplément, supérieur en pluie très érosive et sur sol mouillé, est attribuable aux sols à drainage ralenti déforestés (cultures de riz, manioc, gingembre, jachères jeunes et bananiers peu denses) plus qu'à des phénomènes de surface.

- La charge solide diffère selon la pluie, mais pas selon le bassin.

La pluie érosive sur sol sec a généré de faibles transports de masses solides en suspension (1g/L dans chaque bassin) malgré un ruissellement de 9 à 13%, donnant une faible perte (0,07 à 0,08t/ha). Des sols peu érodibles, un taux de couverture du sol important, une dominance de ruissellements hypodermiques et la rareté du travail du sol sont des critères communs aux deux bassins qui expliquent cette faible érosion par une pluie érosive.

La pluie très érosive a produit en revanche beaucoup de transports solides (3,5g/L dans chaque bassin) combinés à des ruissellements importants. Cela a entraîné une érosion significative sous forêt (1,26t/ha) mais loin d'être dramatique. Seules les pluies très érosives sur sol mouillé (4 par an en 2010-2011) génèrent donc une érosion significative. Dans ce seul cas, le bassin agri-forestier serait autant érodable que le bassin forestier mais globalement plus ruisselant. Cela occasionnerait une érosion cumulée, supérieure dans le bassin agri-forestier que dans le bassin forestier, et cela dans les mêmes proportions que le ruissellement (+41%).

Ainsi, il n'est pas possible d'observer un « avantage certain » pour la forêt dans notre cas d'étude. Bien entendu cela reste à considérer dans le cas bien particulier de notre d'étude sur le plan de la qualité de l'eau.

1.2.3.2. Analyse des données des échelles à maximum.

Les échelles à maximum installées en 2011, nous ont permis de comparer les pointes de crues. Les débits maxima (Figure 17) vérifient que les pointes de crue sont plus hautes dans le bassin agri-forestier à partir de pluies de l'ordre de 30 mm/j sur sol humide (soit la

limite des pluies érosives), et égales dans le cas contraire. Cette valeur est cependant peu exploitable compte tenu de l'écart de taille des bassins qui contribue à la différence par effet d'étalement des crues sur grands bassins.

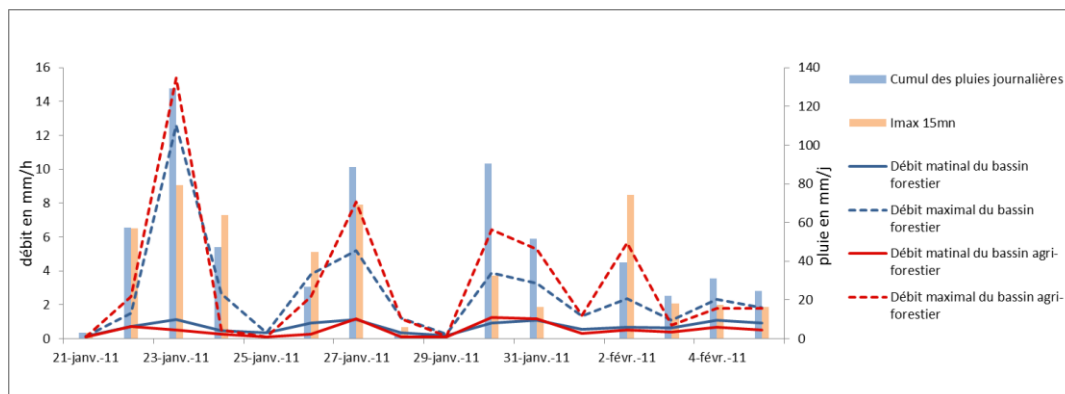


Figure 17 : Débits matinaux et maximum quotidiens en 2011 (Serpantié, non publié).

En résumé, sur le bassin forestier, une pluie érosive produirait un « ruissellement » de 10% des précipitations sur sol sec, ce résultat est augmenté de 1/3 en agri-forestier. Il n'y a quasiment pas de transports solides.

Une pluie très érosive sur sol humide engendrerait un ruissellement important (30% de P), accru de 1/2 en agri-forestier, ainsi que des transports solides significatifs dans les deux cas.

1.2.4. Utilisation des modèles.

Deux modèles ont été utilisés complémentaires dans notre démarche. Un modèle empirique a permis de déterminer le ruissellement. Un modèle pluie-débit nous a permis de simuler des débits afin de réaliser des simulations de scénarii.

1.2.4.1. Modèle de ruissellement.

Nous avons utilisé le modèle de ruissellement $R=a(P-PI)$. Une analyse des études de Brand et al. (1997) et du CTFT¹ à Périnet en 1960 (Bailly et al., 1974) montre qu'il est possible de définir PI en fonction du milieu et de lui associer un coefficient a. Les choix des coefficients pour Andasy sont réalisés en fonction de l'étude de la littérature mais également raisonnés en fonction de l'analyse des crues et du bilan d'eau.

En forêt ou "vieille *savoka*²".

	PI (mm)	Coefficient a
1 ha « vieille <i>savoka</i> » à Périnet	48	0,44
900 ha à Beforona	23	0,61

Tableau 6 : Valeurs des paramètres PI et a en forêt ou vieille *savoka* (Source : Brand et al. 1997 et Bailly et al. 1974).

Une diminution de PI et une augmentation du coefficient a est observable en fonction de la surface des bassins. Cela peut correspondre à la progression de la prise en compte dans les crues des ruissellements hypodermiques, des ruissellements sur zones basses

¹ Centre Technique Forestier Tropical

² Formation arborée secondaire malgache. Une vieille *savoka* est une jachère qui a reconstitué une végétation arbustive.

III. Résultats de l'étude

engorgées et de l'intégration croissante des sols imperméables, mal représentés dans les essais sur parcelles ou bassins élémentaires uniques, mais aussi un climat plus humide (trois fois plus pluvieux) favorable aux engorgements.

A Andasy, nous avons 489 ha sur sol pentus voire très pentus. Il est donc envisageable de prendre une valeur de $PI=30$ mm et un coefficient a compris entre 0,44 et 0,61. Le suivi de crues nous permet de tester la valeur de a . La crue du 22 janvier 2011 donne un coefficient $a=0,39$ si $PI=30$, ce qui est compatible mais sous-estimé si la comparaison avec les données de Brand et al. (1997) est faite. N'ayant qu'une crue pour la référence, nous conserverons cette hypothèse.

A Beforona, le ruissellement du bassin est de 19% (Brand et al. 1997).

A ECEREX en Guyane sur dix « petits » bassins élémentaires (1-2ha) le « ruissellement » annuel en forêt est de 20% en moyenne, avec une grande variabilité, de 7% à 34% selon l'importance des sols à drainage bloqué (Fritsch, 1995).

Le modèle $R=0.39*(P-30)$ sur une période de quelques mois la plus humide (sans cyclone) donne un « ruissellement » de 5% en 2010 et 16% en 2011.

Notre situation pédologique, bien que pentue, serait donc particulièrement favorable à l'infiltration.

Ces valeurs élevées de « ruissellement » à l'échelle bassin (10 à 20% suivant la source) semblent contraster avec les faibles valeurs de ruissellement sur parcelles forestières observées à Madagascar. Brand *et al.* (1997) évoquent le rôle joué par les ruissellements de subsurface. Mais à ECEREX, Sarrailh (1983) trouvait aussi une gamme forte de ruissellements entre parcelles forestières (0,7% à 15% suivant la parcelle selon l'importance de sols à drainage bloqué, et 9 à 22% selon l'année sur les sols les moins perméables). Cette gamme était comparable avec la gamme de « ruissellement » à l'échelle bassin (7 à 34%), qui est accru par le ruissellement sur bas de pentes saturés. Il manque donc simplement à Madagascar une étude de la réponse hydrologique à la variabilité du sol forestier et du climat interannuel. La référence unique de Brand et al., 1997 ne suffit pas à la caractériser.

Le transport solide en suspension d'un seul événement très érosif mais non cyclonique a été de 1,3t/ha à Andasy. Le bassin forestier étudié par Brand et al, 1997, contribue de 0,33 à 1,3 t/ha suivant les cyclones. A ECEREX, les transports solides (en kg/an/ha) sont de 0,6* $l_{\text{ruisselée}}$ annuelle (mm), ce qui est très faible. De plus fortes pentes, impliquant des vitesses de ruissellement élevées, un climat plus érosif, ainsi peut être que le contexte de la pluie étudiée (première pluie très érosive de l'année) peuvent expliquer les plus fortes valeurs de transports solides observées à Andasy sous forêt.

En milieu agricole.

Le tableau 7 reprend les résultats des différentes études réalisées.

	PI (mm)	Coefficient a
0.02 ha de riz à Beforona	26	0,71
1 ha <i>savoka</i> à Périnet	30	0,22
1ha de riz à Périnet	31	0,67
20 ha de riz à Beforona	22	0,29 ¹

Tableau 7 : Valeurs des paramètres PI et a en milieu agricole (Source : Brand et al. 1997 et Bailly et al. 1974).

¹ Cette valeur paraît aberrante vu les tendances des autres données, le coefficient a devrait être plus grand.

III. Résultats de l'étude

Pour les 90 ha du bassin agri-forestier d'Andasy, il est possible de considérer que $PI=25\text{mm}$, $a=0.57$ est déterminé empiriquement à partir de la courbe de la crue du 22/01.

Appliqué aux données, ce modèle donne un ruissellement annuel de 11 à 22%, respectivement en 2010 et 2011, soit 50% de plus qu'en forêt. Selon Fritsch (1995), la culture sur brûlis accroît le ruissellement forestier seulement de +23 à 30%. Selon Brand et al. (1997), le coefficient a du riz pluvial est seulement de 0,29 (sur 20ha). Notre mesure donnerait donc un ruissellement plutôt élevé pour le bassin agri-forestier. Les fortes pentes accroissent l'impact de la déforestation en termes de ruissellement.

En matière d'érosion, nous trouvons des transports solides par unité ruisselée équivalents dans les deux bassins. A Beforona, les transports solides sous riz pluvial à l'échelle bassin versant sont trois fois plus élevés qu'en forêt qui s'érode pourtant de façon négligeable.(Brand et al, 1997). Dans notre cas, la faible importance relative des cultures annuelles dans l'espace, la bonne couverture du sol en période de pluies érosives, peuvent expliquer les transports solides équivalents.

En milieu « *roranga*¹ ».

Nous disposons d'observations de symptômes d'érosion plus nombreux sous *roranga* mais pas de mesures et devons rechercher des références dans la littérature. De tous les milieux étudiés, c'est la « savane » de Beforona qui est la plus proche du *roranga*, qui est le stade antérieur de dégradation.

Ce milieu n'est pas présent dans notre cas d'étude mais il pourrait se développer dans le bassin. C'est l'état de dégradation « ultime » de l'écosystème forestier dans ces régions malgaches.

	PI (mm)	Coefficient a
0.02 ha de savane	17	0,2
350 ha (ne contenant pas que de la savane)	25	0,56

Tableau 8 : Valeurs des paramètres PI et a en milieu dégradé *roranga* (Source : Brand et al. 1997 ; Bailly et al. 1974).

Pour Brand et al, (1997) sur parcelles, la savane à Beforona se distingue de tous les autres milieux par une pluie limite faible (17mm). En revanche le coefficient a est le même que la végétation secondaire, qui est l'élément dominant d'un milieu agri-forestier. Sur bassins, les paramètres de la savane à Beforona sont les mêmes qu'en forêt ce qui semble improbable. Ainsi, dans le cas d'un bassin comme celui d'Andasy, recouvert uniquement de savane, nous pouvons déterminer $PI=15$ (voire même 10mm) et $a=0,56$.

La charge solide, mesurée à Beforona, exporte 0,3 à 7,9 t/ha lors de cyclones, et de manière générale 7 fois plus que la forêt et 2 fois plus que le riz pluvial (Brand et al., 1997). Si le ruissellement augmente peu par rapport au *tavy*, en revanche l'érosion serait bien le « problème » de ce milieu, plutôt que d'un paysage à *tavy*, où le riz n'occupe qu'une faible fraction de l'espace.

¹ Roranga : fougère indicatrice d'un état de dégradation du sol avancé à Madagascar

Nous pouvons donc définir des modèles de ruissellement en fonction des milieux.

Bassin forestier	$R=0.39*(P-30)$
Bassin agri-forestier	$R=0.57*(P-25)$
Roranga (hypothèse)	$R=0.56*(P-15)$

Tableau 9 : Modèle empirique du ruissellement dans le bassin d'Andasy (Roche, 2011).

Ayant la possibilité d'estimer le ruissellement en fonction de la pluie tombée et du milieu, et le débit matinal par hauteur-débit, nous pouvons en déduire le débit journalier correspondant à la somme du débit matinal et du ruissellement : $Q_j = Q_m + R$.

1.2.4.2. Test de cohérence.

A partir des modèles retenus, un bilan d'eau journalier, moyenné mensuellement, a été calculé (figure 18) afin de tester la cohérence du calcul du débit journalier grâce à la modélisation du ruissellement. Le solde et l'écoulement coïncident à peu près chaque année. En analysant parallèlement les séquences pluviométriques, nous pouvons noter qu'en période de réhumectation après sécheresse, l'écoulement est nettement plus faible qu'attendu. De plus, les périodes pluvieuses sont les mieux ajustées, ce qui confirme particulièrement la cohérence du modèle de ruissellement.

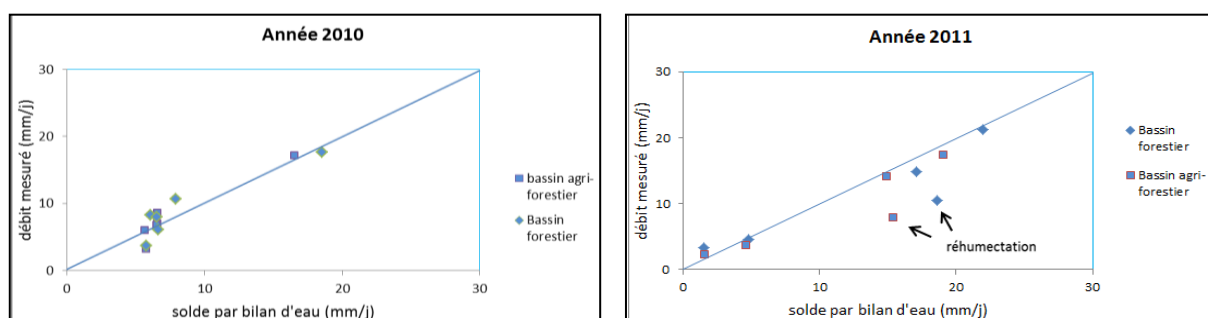


Figure 18 : Test de cohérence des données (Serpantié, non publié).

Le bilan moyen, sur la période de mesure, montre une différence de débits matinaux entre bassins de 1,3 mm/j en 2010 et 1,4 mm/j en 2011, mais les différences de ruissellements ne sont respectivement que de 0,5mm/j et 1,2 mm/j. Nous considérons que les données de périodes cycloniques ne sont pas fiables, elles n'ont donc pas été intégrées.

Bien d'autres facteurs jouent sur la différence entre bassins, difficiles à quantifier aisément : incertitude de mesure sur les hautes eaux, différences d'évapotranspiration réelle entre bassins, gains de précipitations occultes en zone forestière escarpée par récolte des brouillards, effets d'altitude sur la pluviosité, effets de taille des bassins, etc.).

1.2.4.3. Modélisation GR4j.

Nous connaissons maintenant le débit journalier, il est possible d'utiliser le modèle GR4j et modéliser le débit afin de caler nos observations sur un modèle théorique, vérifier leur pertinence et simuler des scénarii.

- Paramétrage du modèle.

La démarche a consisté en deux étapes. La série de données la plus complète, du 12 janvier au 31 mai 2011, a permis de caler les valeurs des 4 paramètres. Deux autres séries, du

III. Résultats de l'étude

29 janvier au 29 mai 2010 (Série 1) et du 20 août au 19 octobre 2010 (Série 2), moins longues, ont servi à valider ces paramètres, et donc le modèle pluie-débit.

Le fonctionnement du modèle nécessite l'optimisation des paramètres suivant :

x1 : La capacité maximale du réservoir de production (en mm).

x2 : Le coefficient d'échanges souterrains (mm).

x3 : La capacité maximale du réservoir de routage (mm).

x4 : Le temps de base de l'hydrogramme unitaire (j).

Ainsi, concernant notre étude, nous avons fixé que le paramètre x1 correspondant aux caractéristiques du sol est équivalent dans les deux bassins. Les échanges souterrains des bassins sont considérés comme nuls. Si ce coefficient est négatif cela correspond à un ruissellement qui se réinfiltré dans le sol. Nous faisons l'hypothèse que les paramètres x3 et x4, respectivement relatifs à la capacité maximale du réservoir et au délai de réponse d'écoulement, sont plus importants en forêt qu'en milieu agri-forestier. Ces hypothèses sont faites grâce aux résultats obtenus par analyse du suivi de crues.

	Bassin agri-forestier	Bassin forestier
x1 (mm)	665.14	665.14
x2(mm)	0.00	0.00
x3(mm)	90.02	109.95
x4(j)	1.11	1.25

	Campagne 2010 Série 1	Campagne 2010 Série 2	Campagne 2011
Taux de remplissage initial de S (%)	0.80	0.80	0.65
Taux de remplissage initial de R (%)	0.70	0.70	0.65

Tableau 10 : Optimisation des paramètres du modèle GR4j (Roche, 2011).

Une fois ce jeu de paramètre établis (Tableau 10) pour les bassins 1 et 2 en année 2011, il est possible de tester notre optimisation avec les données de 2010. Nous modifions les taux de remplissage initiaux qui retranscrivent l'état de remplissage des réservoirs R et S à l'état initial. Ces taux doivent être modifiés car les précédents climatiques ne sont pas identiques. Nous considérons que ce sont les mêmes quelques soit le bassin.

Des critères d'efficacité permettent de vérifier la pertinence des jeux de paramètres établis. Ceux utilisés par GR4j sont proposés par NASH (1969) et repris par NASH et SUTCLIFFE (1970). Ces critères expriment la corrélation entre les valeurs observées et simulées, elle tend vers 1 lorsque $Q_{calculé}$ tend vers $Q_{observé}$, c'est-à-dire lorsque le modèle est fiable. Nous considérons un critère supérieur à 65 comme acceptable.

- Modélisation du débit.

L'optimisation des paramètres établie, il est possible de lancer le modèle GR4j afin de modéliser le débit. La figure 19 reprend les résultats obtenus avec GR4j pour le bassin forestier en 2011. Toutes les courbes de résultats sont présentées en annexe XIII.

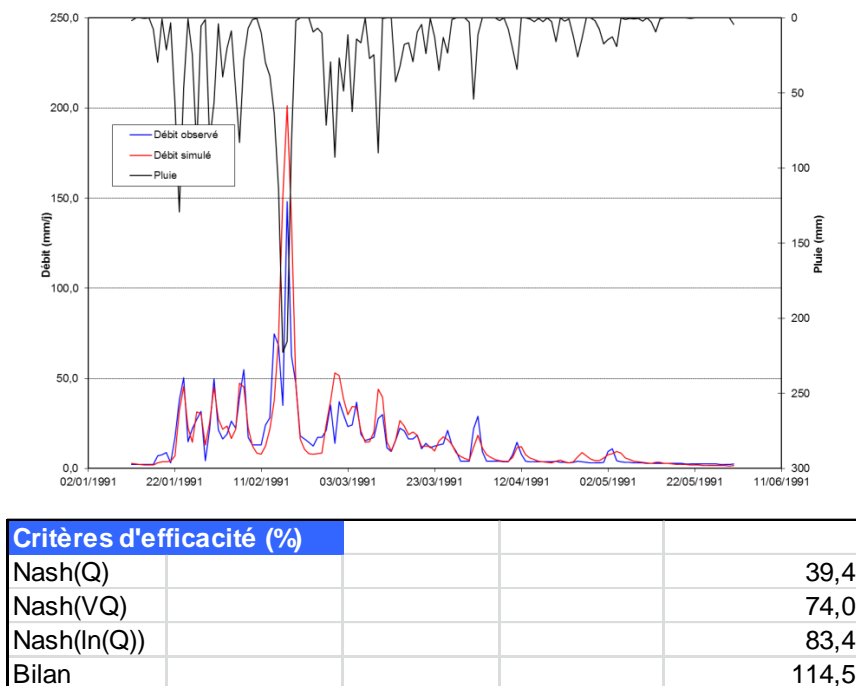


Figure 19 : Modélisation des débits de 2011 pour le bassin forestier avec le modèle GR4j (Capture d'écran).

Nous pouvons considérer nos mesures et l'optimisation de nos paramètres comme pertinents puisque débits observé et simulé sont comparables, les critères de Nash-Sutcliffe sont corrects (bien supérieur à 60%, sauf pour le premier critère).

- Simulation de scénarii.

Les séries de mesures du débit en 2010 et 2011 ont permis de caler et valider un modèle GR4j pour chaque sous bassin. Nous obtenons ainsi Q1, le débit du bassin forestier, et Q2, le débit du bassin agri-forestier. Ces modèles vont nous permettre de simuler le débit à l'exutoire du bassin d'Andasy en testant différents scénarii (Tableau 11) : le bassin dans son état actuel (simple respect des règles de la GCF avec un appui du PSE pour le respect de ces règles), le bassin totalement forestier et le bassin totalement agri-forestier (sans mise en place de la GCF et sans PSE).

	Débit total simulé Q (L/s)
Scénario 0 (bassin actuel)	$(Q1 * 4.91 + Q2 *(0.89+0.5)*1000000)/(24*3600)$
Scénario 1 (entièrement forestier)	$(Q1 * 6.28)*1000000/(24*3600)$
Scénario 2 (entièrement agri-forestier)	$(Q2 * 6.28)*1000000/(24*3600)$

Tableau 11 : Formules de simulation des débits pour les scénarii d'occupation du sol (Roche, 2011).

Une série de données de la pluviométrie de Ranomafana¹ du 1^{er} mai 2010 au 30 avril 2011 est utilisée. Cela nous permet de simuler une saison entière afin de vérifier l'impact de l'occupation du sol sur le débit reçu par la centrale hydroélectrique. Nous le rappelons, la centrale nécessite un débit de 50 L/s pour chacune de ses deux turbines et 7 L/s sont prévu pour l'environnement, afin que la cascade ne soit jamais à sec.

¹ Ranomafana présente les mêmes caractéristiques pluviométriques que le bassin d'Andasy.

	Q moyen (L/s)	nb de jours total: 365	Q (L/s) > 107	Q (L/s) > 214	Q (L/s) >321	Q (L/s) >428	Q (L/s) >535
S0	548,02	nb de jours	279	197	159	119	102
		%	76,44	53,97	43,56	32,60	27,95
S1	546,28	nb de jours	277	198	156	121	100
		%	75,89	54,25	42,74	33,15	27,40
S2	546,28	nb de jours	275	195	149	118	98
		%	75,34	53,42	40,82	32,33	26,85

Tableau 12 : Résultats de la simulation des débits en fonction des scénarii (Roche, 2011).

Le tableau 12 nous montre le faible impact de l'occupation des sols sur le débit à l'exutoire du bassin. Pour un bassin complètement agri-forestier, le débit à l'exutoire serait à 75.34% du temps au-dessus des 107 L/s nécessaires. Le scénario où le bassin serait complètement reboisé ne garantit pas un meilleur pourcentage. Les courbes de débits simulés (Annexe XIV) nous montrent que les débits sont principalement insuffisants en saison sèche (de avril à août). L'étude des « excès de débits » ne montre pas non plus d'avantage certain pour un des scénarii envisagé. L'analyse graphique montre également que les pics de crues sont légèrement plus importants dans le cas du scénario 2.

Ainsi, aucun des cas simulés ne garantit un débit de 107 L/s tout au long de l'année. Ces résultats nous montrent également que l'état du bassin n'est pas catastrophique.

1.3. Bilan des résultats hydrologiques.

L'analyse des données hydrologiques, bien qu'elle présente des incertitudes, confirme l'existence de crues de ruissellement chargées de transports solides dans les deux bassins. En zone escarpée, la forêt n'a pas ce caractère de « garantie » d'une eau toujours propre et naturellement régulée que les conservationnistes lui prêtent.

Ces résultats confirment toutefois un aggravement de certains pics de crues en zone agri-forestière mais pas leur charge solide. Cette évolution reste modique au regard des références de savane, où les transports solides s'accroissent d'un facteur 7 par rapport à la forêt et où les pluies limites de ruissellement sont plus faibles, conduisant à des ruissellements annuels plus élevés. La forêt produit aussi un gain de 15% dans les débits de base excepté lors des étiages les plus sévères, ce qui peut avoir une utilité pour l'exploitant industriel.

La modélisation des écoulements permet de tester différents scénarii d'aménagement. Les résultats montrent qu'aucun des scénarii testé n'est plus avantageux concernant le niveau de débit minimum nécessaire à la centrale.

Finalement le gain hydrologique d'écrêtement des crues moyennes, d'un meilleur étiage en fin de saison des pluies, d'un meilleur bilan érosif, tous favorables à la durée de vie et à la rentabilité de l'investissement, restent des gains modiques, voire secondaires pour l'aménageur. En revanche, une évolution vers un milieu de *roranga*, dont les effets sur l'érosion et le ruissellement sont beaucoup plus marqués doit être évitée. Le *dina* interdisant le *tavy*, en plus des mesures contre la défriche prises dans le cadre de la GCF, semble donc totalement justifié au nom d'une préservation de la ressource en eau à long terme et doit donc être maintenu, mais le projet ne peut pas faire l'impasse sur la proposition d'alternatives visant à atténuer les conflits.

Afin de définir les activités alternatives pouvant permettre d'être à la base du système de compensation prévu par le mécanisme de PSE, une typologie des exploitations agricoles a été développée. Elle peut ainsi être utilisée comme porte d'entrée dans la discussion portant sur les différentes alternatives proposées a priori.

2. TRAITEMENT DES SAVOIRS LOCAUX POUR UNE OBJECTIVATION HYBRIDE.

Les savoirs recueillis auprès des paysans sont issus de savoirs hérités ou tirés d'expériences. Ils peuvent être individuels ou collectifs. Les enquêtes auprès des paysans du bassin d'Andasy nous ont permis d'élaborer une base de données sur les perceptions du ruissellement, de l'érosion et du phénomène de crues.

2.1. Savoirs collectifs.

L'étude des données récoltées nous a permis de mettre en place une liste de vocabulaire utilisé par les paysans pour définir leur milieu.

	Malgache (<i>Tanala</i>)	Français
Localisation des villages	- Antety - Ambody tety	Désigne les gens habitant le haut de la falaise Désigne les gens habitant le contre bas de la falaise (région de basse altitude)
Relief (fonction du degré de pente)	- Harana - Foringa - Tanambogna - Harenana/tany marina	Fortes pentes (30 et 40°) Pentes moyennes (15 à 25°) Lignes de crêtes Replat (<i>Tanala/Betsileo</i>)
Sol	- Tany mainty - Tany mavo - Tany mena - Tany manara	Terre noire (très fertile) Terre jaune (sol intermédiaire) Terre rouge (peu fertile) Sol froid (très peu fertile)
	- malemy - maditra	Sol meuble (bonne terre) Sol sur (mauvais sol)
Eau	- Herika - Herika be - Siklaona - Rano - Riaka/Ranovohitra - orambaratra - vavasaha - saha - sagoaka	Pluie Pluie intense Cyclone Rivière, ruisseau, torrent Ruissellement Forte pluie Exutoire Bassin versant Ruissellement
Erosion	- Tany toha - Tany vaky - Lavaka	Glissement de terrain L'eau qui arrache la terre Effondrement

Tableau 13 : Classification *Tanala* des différentes caractéristiques du BV (Roche, 2011).

Cette liste (Tableau 13) nous est utile car certains mots utilisés dans le bassin sont *Tanala* et différents du vocabulaire malgache officiel. Cette liste de vocabulaire, établie après le traitement des différentes enquêtes, réunions ou rapports de mission, est proposée et discutée avec les paysans afin de confirmer ou d'infirmer les traductions et leurs utilisations. Cela permet d'être plus sûr lors des traductions mais aussi de comprendre les classifications utilisées par les paysans. Par exemple, un sol fertile est défini par une couleur et une texture, les reliefs dans le bassin sont définis en fonction des valeurs de pentes.

2.2. Expériences individuelles.

Les connaissances en termes de crues, ruissellement et érosion, à l'échelle du bassin puis à l'échelle parcellaire, ont été récoltées. Des enquêtes individuelles ont été menées pour récolter les informations auprès des paysans. Pour cette enquête, 17 paysans ont souhaité répondre, elle a été réalisée en janvier 2011 par Rakotonirina. Les résultats sont issus de ces enquêtes et de leur traitement statistique.

A l'échelle du bassin, deux grands types d'érosion sont cités en premier par les paysans. Les *Tany toha* (éboulements) et *Tany vaky* (l'eau qui arrache la terre).

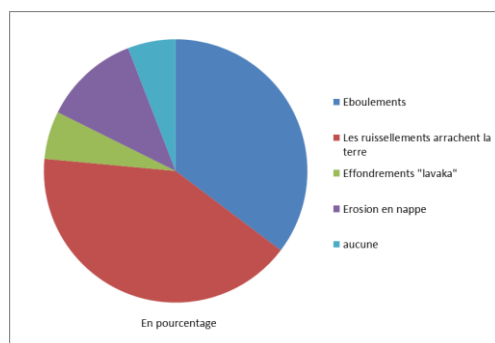


Figure 20 : Types d'érosion connus par les paysans (Roche, 2011).

La figure 20 reprend la première réponse citée par les paysans interrogés sur les formes d'érosion connues dans le bassin. Les *Tany toha* ne surviennent que rarement dans le bassin. Les paysans l'évaluent à quelques fois par an seulement. Les *tany vaky*, au contraire, interviennent régulièrement au cours de la saison des pluies. Une majorité de paysans ne met pas en place de mesures de protection, seulement quelques-uns creusent des canaux de protections.

Les crues sont observables dans les deux sous bassins. Elles apparaissent en général après les fortes pluies ou en cas de cyclone (figure 21).

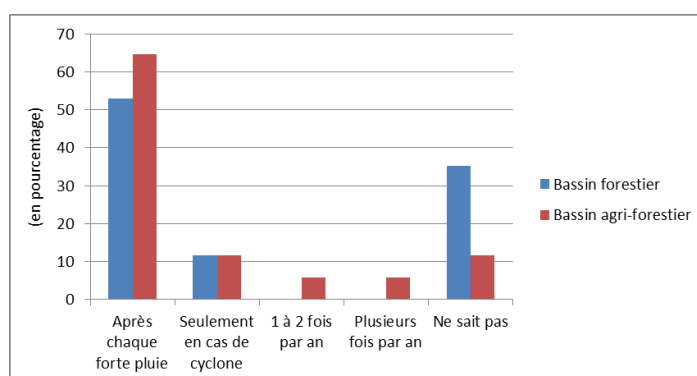


Figure 21 : Fréquences d'apparition des crues en fonction du type de bassin selon les paysans (Roche, 2011).

Les crues dans le bassin agricole interviennent après de fortes pluies. Les hauteurs de crues sont comprises entre 1 et 2 m et la couleur de l'eau dépend majoritairement de la couleur du sol. Il n'y a pas de dégâts particuliers liés aux crues.

Concernant le bassin forestier, 6 paysans n'ont pas répondu car le bassin est loin et ils n'ont pas l'habitude d'y aller. Généralement, les crues interviennent après chaque forte pluie et l'eau monte jusqu'à 1 ou 2 m. 4 paysans évaluent la montée des eaux entre 3 et 5 m.

A l'échelle parcellaire, le questionnaire interroge les paysans sur le ruissellement et l'érosion (pour des espèces cultivées ou non au moment de l'enquête). Quatre grandes cultures ont été étudiées, considérées comme des cultures importantes dans le bassin: la banane dense, la banane peu dense, le manioc et le riz pluvial. Les cultures les plus propices au ruissellement, selon les paysans, sont la banane peu dense et le manioc. Dans les autres cultures connues pour ruisseler, les paysans ont cité en majorité le gingembre.

La banane peu dense ruisselle pratiquement pour tous et principalement dans les bas de pentes. La densité de bananes peut être un facteur limitant le ruissellement. Il faudrait connaître les cultures associées à la banane peu dense pour limiter le ruissellement.

La période d'apparition du ruissellement est généralement pendant la saison des pluies, en cas de fortes pluies ou de cyclones.

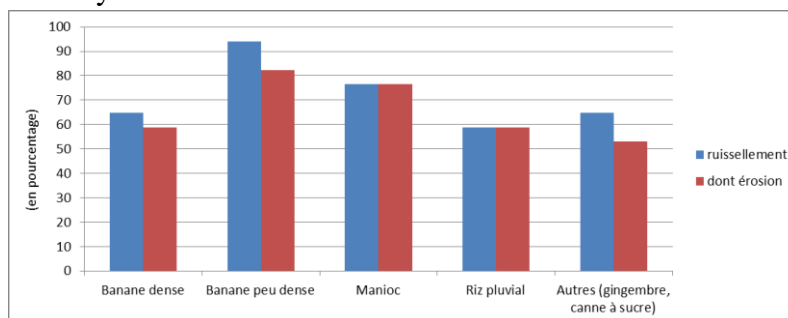


Figure 22 : Présence de ruissellements et d'érosion dans les parcelles selon les paysans (Roche, 2011).

Ainsi, ces enquêtes permettent de cibler la banane peu dense, le manioc et le gingembre comme cultures à risque en termes de ruissellement. Manioc et gingembre aggraveraient la situation d'érosion, notamment à cause du travail de la terre. La banane dense et le riz pluvial sont des cultures qui ruissellent moins mais la banane dense ne semble pas non plus garantir qu'il n'y ait pas d'érosion. Bien sûr, la topographie de chaque parcelle doit être renseignée avant de généraliser ces résultats, néanmoins cela nous permet d'avoir une idée de la tendance dans le bassin. De plus, le bassin forestier ne garantit pas l'absence de ruissellement ni d'érosion. La totalité des paysans répondent que l'eau de ruissellement sortant du bassin forestier est colorée, comme dans le bassin agri-forestier.

Ces résultats ont été présentés en réunion collectives afin de les faire valider par les paysans. Ainsi, il sera possible de s'appuyer sur ces informations pour mener notre réflexion scientifique et tenir compte de ces résultats lors du traitement des données hydrologiques.

3. TRAITEMENT DES DONNEES D'ENQUETES POUR UNE CO-DEFINITION DES ACTIVITES ALTERNATIVES.

3.1. Typologie des exploitations agricoles.

3.1.1. Présentation des données.

Parmi les données disponibles des enquêtes socio-économiques de 2009, les modalités concernant la structure du ménage et le système de production ont été choisies pour la conception de la typologie (Tableau 14).

Le traitement des données utilisé est une analyse des Correspondances Multiples (ACM) réalisées grâce au logiciel Xlstats.

III. Résultats de l'étude

Nom	Définition	Indications sur le fonctionnement de l'EA
Structure du ménage		
AGE	Age du chef de l'exploitation agricole regroupé en 4 classes. 1 : 21 à 30 ans; 2 : 31 à 40 ans; 3 : 41 à 50 ans; 4 : 51 à 60 ans.	Cycle familial
ORIG	Origine du chef d'EA regroupé en 3 classes. 1: "local"; 2: migrant côtier; 3: migrant des hautes terres.	Cycle familial
UTH/UR	Rapport des facteurs Unité de Travail Homme sur Unité de Résidence 0 : 0 à 0,75; 1 : 0,75 à 0,85 ; 2 : 0,85 à 0,9 ; 3 : 0,9 à 10.	Disponibilité en main d'œuvre
UR	Unité de Résidence 1 : 0 à 3 ; 2 : 3 à 5; 3 : 5 à 9	Frais supplémentaires déjà inclus dans le calcul de UTH/UR
Structure de l'exploitation		
SUP	Superficie totale en hectares 1: <1ha; 2: 1 à 2 ha; 3: 2 à 3.5 ha; 4: >3.5 ha	Niveau de capitalisation
POR	Elevage de porcs dans l'EA.	Accumulation de capital
SREV1	source de revenu principal. 1 : banane ; 2 : salaire ; 3 : autre	Orientation du système de production
SAL	salariat hors EA. 0 : non ; 1 : oui.	Disponibilité en main d'œuvre et pluriactivité au niveau de l'EA
DIV	nombre d'activité agricole de rente.	Orientation du système de production
PRIZ	production de riz 0 : non ; 1 : oui	Orientation du système de production.
ALI	nombre de repas avec riz dans l'alimentation du ménage.	Insuffisance de la production de riz
REV	niveau de revenu de l'EA. 1: >100000/UR ou capital (bœufs) ; sinon 0.	

Tableau 14 : Variables utilisées pour décrire le fonctionnement des EA (Source : Toillier, 2009a).

Nous nous intéressons, dans un premier temps, aux tableaux des valeurs propres et des pourcentages de variance de l'ACM. Le plan représenté par le graphique (Annexe XV) restitue 24,85%, l'information y est donc plus ou moins bien restituée. Le premier axe restitue 14,82% de l'information quant au second, la part présente est de l'ordre de 10,04%. La part relative du troisième axe est de 9,66%, il peut donc être intéressant de l'intégrer dans cette analyse. Le graphique des individus croisant les axe F1 et F3 sera utilisé pour confirmer ou infirmer la place de certains individus dans un type.

- Les modalités contribuant à la construction de l'axe F1 sont : DIV, SREV1, ALI, SAL.

Du côté positif de l'axe, on retrouve des modalités indiquant de petites exploitations (SUP1), où il n'y a pas de diversification des cultures de rente (DIV0) et pour lesquelles le revenu principal est constitué du salariat (SREV1-2).

Du côté négatif de l'axe, ce sont des modalités indiquant un niveau de capitalisation plus élevé avec par exemple une production de riz, la place du riz dans l'alimentation est plus importante (PRIZ3) et une diversification agricole de rente (DIV2). Les superficies sont supérieures. Le niveau de revenu est supérieur à 100000 Ar/UR. La principale source de revenu est plus généralement la banane.

Ainsi, cet axe semble définir l'activité du ménage et le système de production. Cet axe permet de définir l'activité génératrice de revenus ainsi que le développement du système de production.

- Pour l'axe 2, les modalités constituantes de l'axe sont : UR, AGE, UTH/UR.

Du côté positif de l'axe, on retrouve des exploitations matures dont l'UR est élevé. Plus de capacité de capitalisation car élevage de porcs. Mais les superficies de ce côté de l'axe ne sont pas élevées.

De l'autre côté, les exploitations sont jeunes et le rapport UTH/UR compris entre 0,75 et 0,85. On retrouve des exploitations de plus grande taille.

Cet axe est principalement constitué de modalité en lien avec la structure du ménage et donc la main d'œuvre disponible sur l'exploitation. Les modalités UR et UTH/UR sont liées à l'âge des personnes constituant le ménage considéré. Cela permet de définir les stratégies de développement du système de production des EA.

3.1.2. Présentation des types d'EA.

Suite aux résultats de l'analyse et à l'étude de la configuration spatiale des EA, 5 types d'exploitations ont été identifiés (Annexe XVI):

- Les petites exploitations de salariés (Type A)
- Les moyennes exploitations de salariés à logique commerciale (Type B)
- Les moyennes exploitations commerciales (Type C)
- Les grandes exploitations commerciales en transition (Type D)
- Les petites exploitations dont le ménage habite hors du bassin (Type E)

Les petites exploitations de salariés (Type A)

Ce type regroupe des exploitations agricoles matures dont la moyenne d'âge du chef d'exploitation est de 44 ans (Tableau 16) à l'exception de l'EA27 (33 ans).

La production de ces exploitations est peu diversifiée avec des productions telles que banane, café, manioc ou canne à sucre. La production est uniquement destinée à l'autoconsommation. Leur production n'est pas vivrière et ces ménages n'ont pas de production de riz. L'achat du riz se fait sur les 12 mois de l'année. Ce sont des ménages qui ne consomment en général

qu'une à deux fois du riz par jour. Le rapport UTH/UR est élevé et la main d'œuvre de l'exploitation est utilisée pour des travaux de salariat hors de l'exploitation.

La principale source de revenu pour ces ménages est le salariat. Ces exploitations ne pratiquent pas d'activités commerciales.

Ce type regroupe un ensemble de petites exploitations dont le territoire est groupé mais de petite taille (0,70 hectares en moyenne (Tableau 16)). Les facettes paysagères sont exclusivement des pentes mis à part pour l'EA3 qui possède deux champs sur un replat où poussent des ananas et des plantations arbustives.

Seule l'EA27 est traversée par un cours d'eau et donc concernée par le respect d'une bande de 50m de chaque côté des cours d'eau. Les champs concernés étant principalement en pente, les aménagements devront prendre cela en compte.

Les moyennes exploitations de salariés à logique commerciale (Type B)

Le type B est composé des exploitations dont la moyenne d'âge est de 43 ans. Le rapport moyen UTH/UR est de 0,78 pour ces exploitations. Ainsi, il y a une quantité faible de main d'œuvre par rapport au nombre de bouche à nourrir dans le ménage.

La production agricole est diversifiée, production de tarot, patates douces, ananas, bredes... Les systèmes de production sont diversifiés associant cultures vivrières et cultures de rente. Mais cette production est d'abord destinée à l'autoconsommation et à la vente seulement en cas de surplus et en fonction de la demande. La consommation de riz est de trois fois par jour et le riz est acheté toute l'année.

La principale source de revenus est le salariat mais la banane est cultivée dans une logique de production de rente. Ainsi, ce sont des ménages qui salarient leur main d'œuvre mais qui cultivent quand même en ayant une logique commerciale.

Les exploitations de ce type sont de taille moyenne, soit 1,67 hectares en moyenne. Toutes les facettes paysagères sont représentées dans ce type (sommet, bas-fonds, replat, pente, pente douce).

Il n'y a pas d'exploitation traversée par un cours d'eau. Ces exploitations sont certainement en transition suite aux interdictions de feux par exemple. Ainsi, elles vont se tourner vers une diversification plus importante pour développer la commercialisation de leur production. Il est donc intéressant de développer cette diversification.

Les moyennes exploitations commerciales (Type C)

Les exploitations du type C sont des exploitations dont le rapport UTH/UR est plutôt faible. Ainsi, ces EA peuvent avoir un problème au niveau de la disponibilité en main d'œuvre. La moyenne d'âge du chef de famille est de 42 ans mais il y a une forte variabilité des âges dans ce type (de 22 à 58 ans).

Les cultures de rente sont diversifiées avec deux voire trois cultures différentes tant vivrières que de rente (taro, ananas, patate douce...). La consommation de riz est de trois fois par jour mais le riz est acheté toute l'année. Certaines exploitations comme EA5, EA25, EA26 et EA29 produisent du riz donc n'en achètent que 11 mois sur l'année. Seule EA25 produit suffisamment de riz pour n'en acheter que sur 6 mois de l'année. Toute la production de riz est destinée à la consommation de la famille.

La source de revenu principale est la banane. Ainsi, la production agricole génère suffisamment de production pour satisfaire la consommation du ménage et engendrer un revenu suffisant pour que les EA n'aient pas recours au salariat.

Ce sont des exploitations de taille moyenne ne possédant qu'un seul domaine. La majorité des exploitations est traversée ou au bord d'un cours d'eau du bassin. Toutes les facettes paysagères sont concernées par les exploitations de ce type.

Les grandes exploitations commerciales en transition (Type D)

Les ménages de ce type sont caractérisés par un chef de l'EA d'âge moyen, 38 ans en moyenne. Ce sont de petites familles, le nombre de personnes moyen constituant le ménage est de 4. Le rapport UTH/UR est toujours supérieur à 0,80.

Il n'y a pas beaucoup de diversification de culture de rente dans ces exploitations. Généralement, la production est autoconsommée. Le riz constitue la base de 2 repas par jour. Ces exploitations tirent leur principal revenu de la commercialisation des bananes, mais la majorité est tout de même salariée. Ainsi, les revenus tirés de l'activité agricole ne sont pas suffisants pour subvenir aux besoins des ménages. La capacité de travail de ces exploitations est importante et permet le salariat ainsi que les travaux agricoles de rente.

Ce sont des exploitations avec de grandes superficies comprises entre 1,22 et 6,37 hectares. Les exploitations sont généralement regroupées et certaines possèdent deux grands domaines. A part 3 parcelles de bas-fonds aménagés pour la production de riz, les facettes paysagères concernées par ce type sont principalement des pentes et quelques replats. Ce type concernant de grandes exploitations et un nombre important de ménage, une grande partie des EA est concerné par le passage d'un cours d'eau dans les parcelles.

Les petites exploitations dont le ménage habite hors du bassin (Type E)

Ces exploitations sont classées dans un type à part car ce sont de très petites exploitations dont le ménage ne vit pas dans le bassin. La superficie moyenne de ce type est de 0,15 hectares. Ce sont des exploitations où sont plantées en majorité des bananes, qui est la principale source de revenus. Les bananes permettent le marquage de la parcelle. La production est vendue à Madiorano Gara. Il y a également des cultures vivrières comme le manioc et le tarot.

Il y a peu de diversification dans ces exploitations car « *n'habitant pas dans le bassin, [ces paysans] ne sont pas au courant des cultures qui peuvent pousser ici* ». De plus, ils ne « *connaissent pas les projets mis en place par les ONG comme Ny Tanintsika* » concernant les activités de rente comme le ravintsara ou l'apiculture.

3.1.3. Synthèse.

Le tableau 15 permet de synthétiser les résultats de la typologie et de restituer les résultats de chaque modalité par type.

Cette typologie doit permettre de répondre le plus pertinemment possible aux logiques et contraintes des ménages ciblés par le PSE. Ainsi, en appréhendant leur stratégie de développement et en comprenant leur évolution, il est possible de proposer des scénarii adéquats.

III. Résultats de l'étude

Types EA Variables	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E
% EA (nb total EA)	15% (5)	12% (4)	33% (11)	30% (10)	9% (3)
<i>Structure du ménage</i>					
Age du chef d'EA (min; max)	44 (28 ;54)	43 (33;57)	42 (22;58)	38 (30;58)	40 (32;45)
Nb de personnes dans le ménage (min; max)	5,2 (2;10)	6,5 (5 ;8)	6 (3;13)	4,4 (2;6)	4,7 (1;7)
Nb d'enfants (Age<16) (min; max)	1,8 (0;3)	3,8 (3;5)	3,4 (1;10)	1,8 (0;4)	2,3 (0;4)
Nb d'écoliers (min; max)	0,2 (0;1)	0	1,8 (0;9)	1 (0;4)	0
<i>Capitiaux</i>					
UTH*/UR** (min; max)	0,92 (0,83 ;1)	0,78 (0,74;081)	0,78 (0,63 ;0,97)	0,87 (0,80 ;1)	0,88 (0,81 ;1)
Superficie totale (hectares) (min; max)	0,70 (0,20 ; 1,16)	1,67 (1,17 ; 2,47)	1,89 (1,12 ; 3,53)	3,59 (1,22 ; 6,37)	0,15 (0,07 ; 0,21)
Zébus (non=0, oui=1) (nombre moyen)	0	0	1 (3,5)	0	0
<i>Système de production et d'activité</i>					
Production de riz	0	0	1 (4 EA)	1 (une seule EA)	0
Salariat hors EA (non=0, oui=1)	1	1	0	1	0
Elevage de porc	2 EA	1 EA	4 EA	4 EA	0 EA
Deux premières sources de revenu	Salariat	Salariat/banane	Banane/culture de rente	Banane/salariat	Banane/autres (tabac, vente à la gare)

Tableau 15 : Type d'exploitation agricole selon leur fonctionnement (*moyenne, minimum, maximum*)
(Source : Toillier, 2009a).

EA : Exploitation agricole ; *UTH : Unité de travail homme ; **UR : Unité résident

On constate que les exploitations ne dépendant pas du salariat sont les plus nombreuses. Elles représentent 72% des exploitations du bassin. Ainsi, les mesures d'interdiction concernant l'activité agricole doivent permettre aux ménages de pallier à la perte économique liée à ces *dina*. Cette perte, justement, n'a pas été chiffrée mais elle est le sujet principal de discussion des paysans lorsque le sujet des *dina* est lancé pendant les réunions. Ainsi, pour nombre de ménages, l'activité de rente, source de salaire principal, avant l'interdiction du feu était le haricot. Aujourd'hui, les enquêtes auprès des paysans du bassin montrent que les rendements de haricot ont considérablement chuté dans le bassin et que la plupart des paysans ont arrêté cette culture rémunératrice.

Les types B et C montrent que l'activité agricole est couplée au salariat. Les interdictions étant encore relativement récentes, on peut penser que ces exploitations sont en transition et qu'elles vont se tourner vers d'autres activités rémunératrices. Nous avons pu constater que la disponibilité en main d'œuvre n'est pas un point de blocage pour les paysans du bassin. Ainsi, les scénarii doivent être en mesure de proposer des activités agricoles rémunératrices permettant de pallier aux pertes économiques liées à la culture de haricot et permettre aux exploitations en transition de développer leur activité plus rapidement.

3.2. Activités alternatives à priori compatibles.

Les différentes enquêtes menées auprès des acteurs de la région et des filières agricoles nous ont permis de dégager des alternatives pouvant être développées dans le bassin. Ces alternatives ont été également établies en fonction des caractéristiques des ménages du bassin, des *dina* mis en place par la commune et la proximité du corridor qui empêche l'introduction de certaines espèces (invasives par exemple).

3.2.1. Enquêtes sur les productions vivrières.

Les enquêtes à Tolongoïna et Madiorano concernant les cultures vivrières dans le bassin nous ont permises de montrer que la demande de produits vivriers existe dans la région mais que l'offre est pratiquement absente. Ainsi, toute la production est importée de Fianarantsoa. La demande se concentre principalement sur les tomates, oignons, pommes de terre, carottes. Selon nos entretiens, il n'y a pas de production de ces légumes dans la zone de Tolongoïna alors qu'ils sont les plus consommés.

Le principal problème pour les vendeurs sur le marché n'est pas l'approvisionnement car le train permet des livraisons régulières mais le coût de celui-ci, 50 Ar par kilogramme de marchandise acheminée quel qu'elle soit. Le coût du transport par train ou docker réduit les marges aux producteurs. Une production locale pourrait diminuer les coûts d'approvisionnement et augmenter les marges. Les principales productions maraichères dans la région de Tolongoïna sont les brèdes et le piment. Les brèdes sont vendues sur le marché local et exportées vers Manakara par le train. L'exportation vers Fianarantsoa ne concerne que les productions de manioc, gingembre et piment.

Il existe donc une opportunité de développement de ces productions dans la région puisque la demande existe et que selon nos entretiens avec les associations agricoles les rendements sont bons dans cette région.

3.2.2. Enquêtes auprès des acteurs régionaux.

Les acteurs interrogés (Annexe VIII) nous ont permis de prendre connaissance des types de projets mis en place dans la région et de connaître l'organisation des institutions notamment la logique de conservation développée dans les régions proche du corridor. Ainsi, le principal bailleur de fonds qui gère et finance les projets dans la région est CI au travers du programme NODE. CI a pour principal objectif de réduire les pressions anthropiques sur le corridor. Les activités de CI sont réalisées dans le cadre de différents projets par des institutions locales en tant que prestataires de services : *Ny Tanintsika* à l'est du corridor et *Haonasoà* à l'ouest. Ces institutions ont pour rôle l'appui aux paysans et groupements de paysans dans l'objectif d'un développement agricole et rural. Les projets développés s'appuient sur des initiatives locales. Les filières sont ensuite développées avec l'appui des groupements tels que les COBA ou associations de *Koloharena*.

Node signifiant « nœud » en anglais, signifie que les institutions recevant les fonds NODE servent de relai entre CI et les institutions locales telles que les COBA. Le programme NODE a débuté en 2010 et a pour but de « conserver la forêt du corridor », auquel s'ajoute un objectif plus social : « améliorer la qualité de vie des habitants de cette zone ».

Les projets mis en place dans la région concernant les cultures vivrières montrent que le développement de la filière est techniquement possible dans la zone de la commune de Tolongoïna. L'appui des COBA et *Koloharena* est important pour assurer l'appui technique et fourniture d'intrants.

3.2.3. Alternatives développées à partir de ces données.

Les discussions avec les différents acteurs nous ont permis d'élaborer une liste d'activités alternatives. Ces alternatives ont été hiérarchisées selon les grands groupes cibles afin de faciliter la discussion lors de l'atelier participatif. La liste des alternatives proposées est présentée dans le tableau 16.

<p>Activités individuelles salariées chez planteurs</p>	<p>Augmenter le portage, la trouaison, l'entretien, la protection antiérosive du gingembre (production de mulch, de haies)</p>
<p>Activités familiales agricoles de rente</p>	<p><u>Intensification des activités de rente pérennes</u> (gros trous, compost, associations, mulching, engrais si besoin)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensification de la banane (gros trous, compost, mulching) la culture doit être située sur les pentes faibles à moyennes. • Intensification du café (par recepage, renouvellement des anciens pieds de café, utilisation de variétés améliorées avec l'aide du FOFIFA). La parcelle de café si elle n'est pas en association avec les bananiers peut fournir de l'ombre pour une autre culture. <p>Comme cela est déjà souvent le cas dans la région, il est possible d'associer plantation de banane qui peut fournir l'ombre nécessaire au bon développement des caféiers.</p>
	<p><u>Intensification des activités de rente annuelle</u> (engrais, compost sur gingembre)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le gingembre peut être développé dans le cadre d'une culture familiale sur de petite surface en pente faible ou sur des replats. Utilisation d'engrais ou de compost. Les aménagements mis en place peuvent être des rigoles en amont, des andains, du mulching et utilisation des bandes alternées. Cela ne doit être développé qu'à très petite échelle. Mais si cela fonctionne pour les loueurs de parcelles et ramène un revenu, cela peut être développé par les paysans dans les règles de la fourniture du service.
	<p><u>Diversification activités de rente pérenne</u> (citronniers, papayers, canne à éthanol, plantes à huiles essentielles)</p> <p>Ces activités sont à développer surtout dans les bas de pentes, autour de la case et également dans la zone des 50 m autour des cours d'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les arbres fruitiers vont permettre la fixation du sol. • La canne à éthanol peut être développée autour des cases ce qui permet non pas d'empêcher le ruissellement mais de filtrer les écoulements. • Les plantations de café pour ceux qui n'en ont pas encore (cf. Intensification activités de rente pérenne).
	<p><u>Diversification activités de rente annuelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Le maraîchage doit être situé surtout sur les replats non irrigables, en bas de pente hors de la zone des 50 m autour d'un cours d'eau. <p>Sur les replats, un léger labour est possible permettant de développer des cultures telles que les brèdes.</p> <p>En bas de pente le labour n'est pas possible, il faut des cultures en semis directs comme la carotte.</p>
	<p>Protection des activités de rente à risque (gingembre, banane peu dense) (strate inférieure, densification, mulching, bandes alternées, rigoles, andains).</p>

Activités familiales vivrières	Location de terres vivrières hors bassin pour les exploitants jeunes en croissance et pour les petites exploitations avec peu de surfaces disponibles (avec aide et suivi).
	Adaptation du haricot : haricots avec lutte biologique (cendres) ou haricots pérennes. Le problème de la culture du haricot est le feu. Nos précédentes études ont montré que la question du feu ramène en fait à un problème en - main d'œuvre est en plus augmenté par l'utilisation de la technique du paillage par exemple.) ; - fertilisant : peut être réglé avec utilisation d'engrais ou compost ; - adventices : utilisation de paillage. Ainsi, le problème de la main d'œuvre pourrait être résolu si une plante de couverture non envahissante convenant à la culture du haricot est trouvée. La culture du haricot est envisageable sur les pentes moyennes et fortes.
	Adaptation du manioc sur site ensoleillé : compost enrichi en phosphore, plantations plus denses, andains, associations avec cucurbitacées rampantes type melon. La culture doit être située sur les mi- pentes et hauts de pentes mais ne doit pas être située en bas de pente.
	Substitution du manioc au taro sur sites ombragés. La culture est à développer sur les pentes et les mi- pentes, notamment sur les sols encore bien fertiles. Autres substitutions : claies de chou chou, bananiers plantains d'altitude.
	Intensification du manioc sur les zones planes ensoleillées. La technique du basquet compost peut être testée.
Activités familiales d'élevage	Apiculture améliorée, canards, porcs, pisciculture... La pisciculture peut être développée dans les bassins à drainage difficile.
Activités communautaires	Coopérative de gestion de vivres (permettant d'acheter du riz en gros quand le prix est bas et revendu au détail pour les besoins locaux).
	Pépinière collective pour toutes les plantations, dont les paysans ont besoin dans le bassin, gérées collectivement par des paysans volontaires du bassin.
	Entretien de barrage, accueil d'étrangers peuvent être des activités salariées à long terme.
Activités familiales d'amélioration foncière	Aménagements de rizières dans les endroits où il y a possibilité d'irrigation seulement.
	Enrichissement de jachères en légumineuses pour faciliter la reprise en culture des parcelles et ainsi alléger le besoin en travail de remise en culture des jachères.
	Restauration de <i>roranga</i> sur les hauts de pentes et les sommets, de glissements de terrain...

Tableau 16 : Alternatives proposées aux paysans d'Andasy lors de l'atelier participatif (Roche, 2011).

4. CONFRONTATION DES DIFFERENTS RESULTATS EN REUNIONS PARTICIPATIVES.

Suite à l'obtention de ces différents résultats, nous avons réalisés deux types d'intervention auprès des paysans. Dans un premier temps une réunion collective a consisté en la confrontation de nos résultats hydrologiques 2010 et des enquêtes sur les connaissances du ruissellement, de l'érosion et des phénomènes de crues avec les paysans.

Ensuite, l'atelier participatif nous permet de discuter d'alternatives agricoles à développer dans le bassin et à terme définir une esquisse d'aménagement du bassin pouvant servir de base lors de la négociation des termes du contrat PSE.

4.1. Réunion collective de restitution des résultats obtenus.

La réunion a permis de restituer, aux paysans et aux acteurs concernés, les premiers résultats de recherche qui ont été tirés des différentes missions et stages effectués dans le bassin d'Andasy.

Etait présent lors de cette réunion, l'adjoint au maire, le chef de chantier intérimaire de la centrale, la représentante des *Koloharena*, les paysans du bassin d'Andasy (certains étaient absents car l'information sur la tenue de la réunion n'avait pas correctement été diffusée).

La restitution s'est organisée autour de la présentation de 6 posters. Chaque poster (Annexe XVII) étant suivi d'une discussion libre autour des résultats présentés. Chacun de ces posters a permis de lancer une discussion portant sur les résultats exposés afin de les confirmer, les infirmer et/ou les compléter.

4.1.1. Savoirs locaux sur l'eau.

Ce poster présente les différentes classifications concernant sols, reliefs, eau et érosion, ainsi que le vocabulaire spécifique utilisé par les paysans pour décrire leur environnement et le climat. Ces termes sont mis en parallèle avec les termes utilisés par la recherche afin de montrer aux paysans que nous intégrons et tentons de comprendre leur classification dans les recherches. Une discussion complémentaire a permis de compléter certains termes et d'en modifier d'autres.

Ainsi, le terme de « *tany vaky* » a pu être ajouté. Il explique la présence d'une fissure en surface qui, lorsqu'il pleut, fait entrer l'eau dans le sol. La détérioration du sol par l'eau peut entraîner un glissement de terrain. Ce phénomène n'est pas observé dans le bassin agricole mais peut avoir lieu dans le bassin forestier.

« *Sagoaka* » en *tanala* et « *Tsangy* » en *betsileo* représente l'eau qui s'accumule en aval des parcelles après la pluie. Le « *ranovohitra* » correspond au ruissellement qui a lieu en amont des parcelles. « *riaka* » est un synonyme de « *ranovohitra* ».

4.1.2. Expériences des paysans sur le ruissellement et l'érosion à l'échelle du bassin.

Les enquêtes ont permis de comprendre comment les paysans voient les deux bassins dans leur ensemble. Les paysans sont d'accord sur le fait que les crues arrivent juste après les pluies (le temps de réaction des bassins est court), que « *l'eau des cours d'eau monte* » et que « *l'eau est colorée par la terre* » (comm. pers.). D'autres éléments comme des végétaux ou des rochers sont emmenés par la montée des eaux.

Un paysan précise pourtant que ces phénomènes ont surtout lieu lors de fortes pluies ou de cyclones et que des pluies faibles ou moyennes ont des conséquences moindres. De plus lors d'un cyclone, les paysans confirment que quel que soit le type de sol il y a des crues importantes et du ruissellement. Il y a peu de dégâts dans le bassin mis à part sur les cultures

implantées le long des cours d'eau lors des crues. Les *tany vaky* dans la forêt sont à l'origine « de la terre dans l'eau qui sort de la forêt ».

Ainsi, les paysans confirment la rapidité de réaction des deux bassins. Ils réagissent aux fortes pluies principalement. De plus, quel que soit le bassin, l'eau est colorée, ce qui indique de l'érosion dans les deux bassins.

4.1.3. Expériences des paysans sur le ruissellement et l'érosion au niveau des cultures.

L'érosion et le ruissellement sont des phénomènes observables surtout sur les cultures de manioc et de gingembre. Cela correspond à la littérature et les causes sont le sarclage et l'arrachage de l'herbe qui exposent le sol. Il existe déjà pour le gingembre une technique de canalisation qui consiste à creuser un canal à 5m en amont de la parcelle puis autour du champ. Selon les paysans, il serait possible de faire la même chose pour le manioc. Il existe, pour ce dernier, la technique « *ratsofoka* » qui consiste à ne pas labourer mais à planter directement les boutures (Différent de la technique du « *kibokaka* » qui nécessite de faire un petit trou à l'*angady*¹ pour la bouture).

Concernant la banane dense, deux paysans disent qu'il n'est pas possible de stopper le ruissellement dans cette culture. Défricher pourrait être une solution pour limiter le ruissellement car les herbes coupées permettent de protéger le sol. Une association de culture avec les bananiers pourrait permettre d'atténuer le phénomène de ruissellement. Ainsi, les paysans proposent de mettre plutôt des cultures pérennes comme le café, le taro ou la canne à sucre.

Les paysans observent ruissellement et érosion dans leurs parcelles mais très peu d'aménagement sont mis en place contre ces phénomènes.

4.1.4. Résultats des mesures et du modèle hydrologique.

Les différents scénarii sont exposés aux paysans pour montrer l'impact des différentes occupations du sol sur les crues notamment les impacts de la GCF. La méthode scientifique est expliquée de façon schématique afin de montrer à quoi ont servi les mesures faites dans le bassin.

Il y a eu peu de réaction à propos de ces résultats qui semblent faire l'objet d'un consensus chez les paysans.

4.1.5. Les exploitations agricoles du bassin.

Les types d'exploitations agricoles et une typologie rapide des paysans ont été présentés. Les paysans sont d'accord sur l'existence de deux grands groupes de paysans : les salariés et les planteurs.

4.2. Atelier participatif.

L'atelier s'est déroulé sur toute une journée, le déjeuner a été pris en charge par le projet et préparé par les femmes du bassin afin de gagner du temps et d'éviter de perdre des participants après la pause.

4.2.1. Déroulement réel de la réunion.

Dans un premier temps le but de l'atelier et l'importance de la participation de tous les paysans a été souligné. Les grandes étapes ont été expliquées.

¹ Bêche à long manche malgache.

Ensuite, la typologie a été exposée dans les grandes lignes pour permettre aux paysans de se reconnaître et de se regrouper par type. Ne voulant pas le faire eux-mêmes, nous avons appelé les paysans par groupe qui se sont placés autour de la table. L'Adjoint au Maire et le représentant de la SM3E sont alors arrivés pour assister à la réunion. Chaque groupe a alors choisi deux représentants qui seront nos interlocuteurs directs pour la discussion concernant les alternatives. Ils sont chargés de faire le lien entre nous et le reste de leur groupe pendant la réunion. Le premier fonds de carte permet aux paysans de se situer sur la carte et dans le bassin.

Les alternatives sont alors présentées pour être discutées au fur et à mesure. Dans un premier temps, les mesures communes à tous les paysans sont présentées et en premier lieu l'interdiction de cultures annuelles dans une bande de 50m de part et d'autres des cours d'eau du bassin. Suite à cette première proposition, les paysans n'ont plus souhaité discuter des alternatives avec nous, animateurs de la réunion. Ils nous ont fait part de leur agacement à participer à des enquêtes et à des réunions sans jamais voir arriver les compensations tant promises par le PSE, considérant que « *le problème ne sera jamais résolu. Même si nous acceptons les propositions, elles ne résolvent jamais nos problèmes* ». La discussion n'a alors finalement porté que sur les alternatives proposées et leur mise en place dans le bassin. Certains paysans ont fait quelques remarques sur la mise en œuvre, mais aucune discussion par type n'a été engagée.

Pour autant, toutes les alternatives ont été énumérées aux paysans présents. Une discussion d'ordre plus générale a pu être tenue suite à la présentation des alternatives. L'Adjoint du maire a également pris la parole pour rappeler les enjeux liés à cette réunion et ceux de la mise en place du PSE et de la bonne conduite du projet d'hydroélectricité.

4.2.2. Informations obtenues.

Le discours des paysans montre qu'ils ne s'attendaient pas à des propositions de nouvelles cultures mais plutôt au règlement des problèmes liés à la culture du haricot et du manioc intervenus après l'interdiction de brûler les terres dans le bassin.

L'ordre d'exposition des alternatives a certainement été un facteur de blocage de la discussion. Le fait de commencer l'atelier et les propositions d'alternatives par une nouvelle interdiction d'utilisation de la terre dans le bassin d'Andasy n'a pas rassuré les paysans qui ont alors cru que nous étions encore là pour mettre en place des restrictions et non des solutions à leurs problèmes ; « *Quel que soit la discussion, il n'y aura jamais de solutions de notre part. Vous avez déjà préfabriqué tout ça, donc nos solutions ne seront jamais prises en compte* ». Sollicités depuis 2009 pour différentes enquêtes, les paysans ont déjà fait part au projet de leur agacement « *d'attendre sans fin des solutions qui n'arriveront peut être jamais* » (comm. Pers., 2011). Le chantier de la centrale ayant pris du retard, les paysans espéraient nous voir arriver avec « des solutions toutes faites ». Ainsi, ils ont vu dans cette liste de propositions de nouvelles interdictions.

Les relations tendues entre les acteurs (notamment les paysans et la commune depuis la mise en place de *dina*) montrent que les jeux d'acteurs doivent être considérés et bien appréhendés pour développer un outil durable et efficace. Notre méthode de départ tenait compte de ces éventuels enjeux et c'est pour cela que nous avons choisi de n'inviter les représentants des autorités (Adjoint au maire et représentant de la centrale) qu'à la fin de l'atelier pour une restitution finale. Nous pensions ainsi éviter les revendications des paysans face aux *dina* mis en place par la commune en 2007. En réalité, ces deux représentants sont arrivés pendant la discussion avec les paysans, bien avant l'horaire prévu. Les enjeux ont été modifiés et les paysans ont vu une occasion de faire entendre leur mécontentement face aux autorités. Ajouté à cela, l'absence de représentant du Gret, qui aurait pu permettre l'officialisation de la réunion

et des résultats de la discussion, a pu créer un sentiment de confusion chez les paysans qui ont pu croire devoir discuter « pour rien ».

Pourtant, tous les paysans sont restés jusqu'à la fin de l'atelier et ont attentivement écouté l'intégralité des alternatives. Ils ont donc pris conscience qu'un certain nombre de solutions seraient apportées et ont acquiescés aux propositions. Les alternatives étant très complètes, il a été difficile d'entrer dans le détail de chacune d'elles et d'expliquer les nouveautés techniques, les possibilités d'approvisionnement en semences...

Il serait donc intéressant maintenant que tous les paysans ont entendu les propositions de discuter dans le détail de chacune d'elles avec les représentants des groupes de la typologie en vue d'un choix d'activités à proposer.

De plus, lors de la discussion d'ordre plus générale, les paysans nous ont demandé à ce que les contrats soient tripartites. Les paysans ne souhaitent pas être les seuls à s'engager dans le PSE et ils espèrent que la commune et la société SM3E participeront aux efforts.

La principale demande des paysans du bassin, bien qu'ils comprennent l'enjeu du projet et l'interdiction du feu, est une solution intermédiaire et réalisable immédiatement car ils se sont conformés à l'interdiction du *tavy* depuis 2007 et leur situation s'est énormément dégradée. Ils demandent donc une intervention immédiate qui les feraient tenir jusqu'à la mise en place effective du PSE.

IV. Discussion et recommandations

Les caractéristiques de Tolongoïna en font un site idéal pour la mise en œuvre d'un PSE. Le peu de travaux similaires et le manque de recul sur l'outil de PSE rendent cette recherche originale. La démarche entreprise pour la définition du SE et pour la mise en œuvre du PSE est innovante dans le sens où il a été peu possible de s'appuyer sur d'autres études du genre. Nous convenons que la méthode et les résultats doivent être portés à discussion et revu dans une démarche plus globale de l'outil PSE comme un outil de développement à Madagascar.

1. LIMITES ET AVANTAGES DE LA METHODE.

Il faut admettre que la méthode hydrologique simplifiée employée en vue d'un coût aussi réduit que possible et d'une application plausible à d'autres projets rencontre de fortes limites. D'abord, les dimensions des deux bassins expérimentaux et leurs caractéristiques de relief sont différentes. Ensuite, l'incertitude sur les estimations de débits est élevée. Elle est liée aux corrections de calage d'échelle, à l'application de fonctions de tarage épousant mal les observations et à l'absence d'observations de vitesses dans les domaines des très hautes eaux. Les nombreux tâtonnements réalisés avant choix définitif des paramètres des modèles sont révélateurs d'une méthode ayant une objectivité toute relative. La modélisation GR4j, par exemple, reste bien sur totalement empirique et les relations établies ne représentent pas la réalité des phénomènes ayant lieu dans le bassin. Nous sommes bien conscients que l'application de ce modèle à un petit bassin et le peu de données disponibles posent les limites de son application. De plus, le modèle est construit sur la base d'essai en milieu tempéré et ne reflète pas la particularité du climat de notre étude.

Toute la méthode ne s'appuie que sur deux années d'observations, non complètes qui ne permettent pas de tester toutes les saisons caractéristiques d'un régime hydrologique de bassin versant en milieu tropical.

Bien sûr, ce modèle reste, nous en sommes conscients, une solution parmi d'autres. Toute méthode hydrologique simplifiée a ses dangers, le plus important étant d'aboutir à des résultats erronés voire complaisants avec des préjugés. Appliquée sans la précaution des tests de cohérence et du recueil de l'expérience des riverains, une telle méthode pourrait être facilement manipulable pour affirmer un impact dramatique de la déforestation sur le rendement en eau d'un bassin versant et soutenir une rhétorique écologiste radicale faisant de l'homme l'ennemi de la forêt. Nous espérons ne pas être tombés, au moins inconsciemment, dans de tels travers.

Pourtant, la vérification des fonctions hauteur-débit par bilan hydrologique mensuel reste globalement satisfaisante et fidèle les deux années. La cohérence de tous nos résultats hydrologiques a, dans la mesure du possible, été testée. Les savoirs locaux recueillis n'infirment pas les résultats. Ils confirment l'occurrence de ruissellements pendant les pluies cycloniques et dans une partie des cultures mais l'absence de ruissellements fréquents. Ils confirment l'existence de crues et de transports solides dans les deux bassins. Aussi l'ensemble de ces résultats restent cohérents. Les réunions participatives organisées ont toujours beaucoup interpellé les paysans qui ont eu beaucoup de chose à nous apprendre sur les systèmes de production du bassin et sur les phénomènes hydrologiques. L'atelier participatif, dans une logique d'implication des paysans à la construction des alternatives, n'a

pas fonctionné comme nous l'espérons. Une réflexion autour de la méthode entreprise nous confirme que le choix d'une discussion participative était pertinent mais l'approche aurait dû être plus travaillée. Ainsi, l'atelier n'aurait peut-être pas du commencer par de nouvelles restrictions d'usages de la terre dans le bassin alors que les paysans attendent depuis deux ans des solutions aux interdictions de 2007.

Nous prenions le parti de co-construire l'outil PSE afin de le rendre efficace et pertinent face aux logiques paysannes en place, la confirmation de nos résultats par les discours paysans nous en montre l'importance.

Outre la question du coût de l'information scientifique, nous espérons construire une méthode généralisable de co-construction d'un PSE. Cette généralisation des résultats en l'état semble difficile. Pourtant, la méthode entreprise peut fournir des informations utiles dans la mise en place d'un PSE et peut permettre de développer d'autres projets similaires et une prise de conscience de l'utilité de combiner connaissances scientifiques et locales. Ainsi, cette démarche pourrait être à la base de conseils sur les méthodes à développer dans la mise en place de futurs projets de PSE.

2. CRITIQUE DES RESULTATS OBTENUS.

Même s'ils vont bien dans le sens de l'intuition mais aussi de la théorie hydrologique, nos résultats rappellent néanmoins que les forêts ne sont pas indemnes d'érosion ou de ruissellements, et que les paysages agri-forestiers actuels de Tolongoina dégradent peu le régime des eaux. L'impact des activités agricoles a bien un effet d'accroissement de certaines pointes de crues lors des précipitations les plus violentes, et donc un accroissement du taux de ruissellement annuel selon les résultats de cette étude. Pourtant, cet effet n'a rien de catastrophique. La teneur en charge solide de l'eau est la même dans les deux sous bassins. Ces paysages agri-forestiers qui ne subissent pas de travail du sol, bien que plus ruisselants lors de fortes intensités de pluie que la forêt, ne sont pas forcément plus érodibles.

Les crues de ruissellement sont d'abord liées à la conjonction d'une forte intensité pluviométrique (horaire ou journalière) et d'horizons de sol ayant des capacités limitées d'infiltration pour des raisons d'engorgements passagers. Ce relativement faible « effet de la forêt » était prévisible mais l'avoir établi dans les conditions locales permet d'asseoir un dialogue entre parties concernées sur des bases plus claires et notamment cohérentes avec les savoirs locaux.

Si la dégradation du régime des eaux est encore faible, il faut en revanche admettre qu'elle annonce une plus forte dégradation si le bassin agricole venait à être soumis à des feux répétés et des pratiques agricoles plus érosives comme le travail du sol. Cette hypothèse montre qu'en réalité, le gain hydrologique, engendré par des mesures de conservation, sera effectif à long terme. Il serait alors utile de comparer un bassin forestier à des bassins à la végétation fortement dégradée de type « *roranga* », bien que cela soit difficile dans la pratique car ces deux milieux sont rarement voisins.

L'utilisation des savoirs des riverains dans ce projet a permis de confirmer des résultats scientifiques mais également d'aiguiller la recherche sur les modèles à utiliser et à développer. Les résultats des différentes réunions nous montrent l'importance de tenir compte des populations locales dans ce type de projet de développement. La situation de site pilote de Tolongoina nous a permis de démontrer l'utilité primordiale des savoirs paysans et de l'implication de la population ainsi que de tous les acteurs concernés dans la démarche de définition de l'outil PSE. L'atelier participatif nous a également permis de nous rendre compte de l'importance des jeux d'acteurs et des conflits sociaux pouvant être générés et qui

induit de nouvelles relations entre les groupes concernés. Il est donc important de les appréhender et de les comprendre pour obtenir une méthode efficace.

Ainsi, l'objectivation du service montre que les mesures qui ont déjà été prises dans le bassin d'Andasy (*dina* de la commune et la GCF) et celles qui seront mises en place par le PSE auront bien un effet sur le service hydrologique. Il sera plus un service à long terme qui empêchera pour les futures générations de voir le milieu dégradé en *roranga*.

Malgré tout, ces méthodes et résultats nous permettent de définir plus précisément le service et l'impact de l'agriculture sur la cascade alimentant la centrale du projet. Quels vont alors être les répercussions sur le schéma de PSE qui sera mis en œuvre ? Y aura-t-il des changements, et quelle sera la suite des activités du projet ?

3. IMPACTS SUR LE PSE ET RECOMMANDATIONS.

Bien que notre étude se veuille la plus complète et rigoureuse possible dans le temps imparti, les conclusions obtenues ne sont en rien définitives. Le manque de certaines données a conduit à faire de nombreuses hypothèses. Mais celles-ci restent cohérentes avec nos observations, les savoirs locaux, les nombreux échanges avec les acteurs et la théorie. Cette cohérence entre un point de vue scientifique et les visions des autres connaisseurs du milieu est essentielle.

Afin de compléter les données, notamment hydrologiques, la caractérisation des débits d'étiage devraient être estimée afin de mieux appréhender leur impact sur l'approvisionnement en électricité par la centrale lors des saisons sèches et d'autres crues devraient être suivies afin de compléter nos données et de confirmer les hypothèses tenues. Le dimensionnement de la centrale tient compte de l'estimation des phénomènes de crues et d'étiages. La centrale est donc capable de maintenir une fourniture d'électricité avec les caractéristiques des débits reçus en fonction des saisons. Concernant les crues, après chaque événement, les sédiments qui auront été apportés devront être évacués. La diminution de l'importance des crues, ou du moins la diminution de leur nombre permet de faciliter la maintenance de la centrale. Il est nécessaire de faire part de ces résultats au commanditaire de la centrale afin de discuter plus précisément avec lui du montant des compensations qui pourraient être fixées.

Les résultats des réunions participatives nous montrent l'importance, à ce stade du projet, d'apporter des réponses aux paysans du bassin qui voient la centrale se construire et le réseau électrique commencer à se développer. Ils sont toujours soumis aux interdictions sans avoir encore bénéficié d'aucune aide. Il serait judicieux de développer des solutions « d'urgence », pour permettre aux gens de patienter jusqu'à la mise en place effective d'alternatives agricoles pertinentes financées par le PSE. En effet, ces solutions ont été développées et détaillées aux paysans lors de l'atelier participatif mais elles doivent encore faire l'objet de recherches de partenaires et de financements afin d'être mises en place. Bien que le volet technique soit relativement développé, l'opérationnalisation des activités proposées doit être travaillée. Les conflits ayant lieu avec la commune depuis la mise en place des *dina* pourraient être atténués grâce aux alternatives concernant par exemple les cultures vivrières. L'atelier participatif fait apparaître pour cette alternative un besoin en terres. Nous avons proposé que ce soit la commune qui s'arrange pour trouver des parcelles hors bassin mises à disposition ou en location (paiement grâce au PSE) aux paysans. Cela permettrait d'atténuer certaines tensions et montrerait aux paysans la bonne volonté de la commune. Cela pourrait être une première compensation à leurs efforts.

D'autre part un des grands problèmes rencontré par les paysans et qui a été l'objet de nombreuses discussions et revendications est l'interdiction du feu. Les paysans le considèrent

primordial pour la culture du haricot et du manioc. Sans le feu, selon eux, il n'est plus possible de cultiver ces espèces pourtant première source de revenus auparavant dans le bassin. Il serait intéressant d'organiser « un voyage d'étude », afin de montrer à quelques paysans des parcelles de manioc et de haricot cultivés sans feu et de leur permettre de discuter de ces techniques avec d'autres paysans les appliquant.

De plus, toujours sur la base des résultats de l'atelier participatif, il serait important de classifier les propositions qui ont été faites et de rediscuter avec les responsables de chaque groupe de la typologie afin de cibler leurs points de blocage et leurs possibilités de développer telle ou telle activités. De plus, les alternatives proposées devraient être, pour faciliter les discussions, soumises à des critères d'évaluation construits et structurés permettant de les évaluer en fonction des possibilités ou faiblesses de chacun des types.

Les étapes de création d'un mécanisme de PSE proposées par Toillier (2009b) ont été suivies par le programme (Figure 23). Ainsi, la phase d'étude de faisabilité arrive à son terme. Le projet doit encore travailler à l'élaboration concertée du schéma d'aménagement, les premières activités sont déjà en cours. L'enjeu est maintenant de se rapprocher au maximum de propositions concrètes, adaptées aux différentes EA et prêtes à être opérationnalisées. Le projet doit aujourd'hui passer à la phase de mise en œuvre qui commence par la négociation des termes du contrat entre les acteurs du PSE.

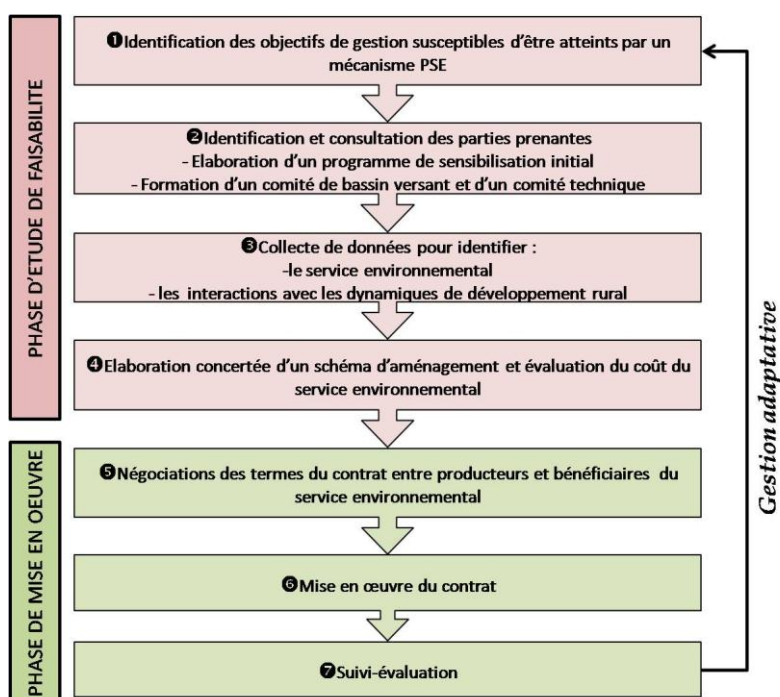


Figure 23 : Etapes pour la création d'un mécanisme PSE pour protéger le bassin versant et les ouvrages de la microcentrale hydroélectrique (Toillier, 2009b).

Toutes ces recommandations permettront d'améliorer la démarche élaborée, elles montrent aussi que les conclusions ne sont pas figées, les résultats doivent toujours être relativisés. Le projet du PSE de Tolongoïna, en tant que site pilote, se doit de revoir les incertitudes et de corriger les erreurs dans la méthode et les résultats afin d'arriver à une méthode la plus fiable et pertinente possible. Même si l'expansion de la méthode telle quelle à d'autres projets de mise en place de PSE semble compliquée, nous pensons qu'elle pourra servir d'exemple à d'autres projets dans le sens où leurs promoteurs prendront peut être conscience de l'utilité et de l'importance d'allier connaissances scientifiques et locales.

Conclusion

Le PSE de Tolongoina devait être effectif en 2011. Les travaux de la centrale ayant pris du retard, les habitants de Tolongoina n'auront pas l'électricité en août comme cela avait été annoncé. Le schéma de base du Gret propose que les paysans fournissent un service assurant la qualité et la quantité d'eau destinées à la centrale et que les habitants de Tolongoina bénéficient de ce service et le rémunèrent au travers d'une taxe sur leurs factures d'électricité. Dès le début du projet, la commune a pris des mesures visant à conserver ce service, comme l'interdiction du *tavy* et du défrichement. Ces interdictions sont basées sur un discours largement prôné par les conservationnistes de la région donnant, aux écosystèmes forêts, un rôle de producteur d'eau. Les paysans, en défrichant la forêt, sont considérés comme une menace envers l'effet bénéfique de la forêt. Le projet a voulu déconstruire cette stigmatisation des paysans et quantifier les effets réels de l'agriculture et de la forêt sur le système hydrologique du bassin versant d'Andasy.

Les résultats obtenus en appliquant une méthode innovante viennent confirmer l'effet de la forêt mais dans une moindre mesure que celle affirmée par certaines institutions de la région. La méthode développée par l'IRD et le Gret prend en compte les mesures scientifiques et les connaissances locales afin de rester au plus près d'une méthode réalisable financièrement par le projet, compréhensible et assimilable par les populations. Nous nous attendions à de plus forts et plus nombreux ruissellements en bassin agricole. Comme attendu les résultats montrent une différence entre les deux sous bassins étudiés. Pourtant, nos mesures et les savoirs locaux confirment bien que la forêt n'est ni indemne d'érosion ni indemne de ruissellements. La modélisation GR4j nous montre également qu'un reboisement total du bassin ou une mise en culture complète ne changerait pas fondamentalement les débits à l'exutoire du bassin et ce pour toutes les saisons. Les principaux services attendus : réduire la charge solide et maintenir un débit des étiages prononcés, ainsi que le bénéfice attendu de la conservation forestière au regard d'une gestion agri-forestière sur l'ensemble du bassin n'est donc pas confirmé et est même improbable. Ainsi, nous confirmons bien que la situation actuelle du bassin n'est pas catastrophique. Pourtant, la lecture de travaux concernant les milieux très dégradés de *roranga*, apparus suite à un sur-défrichement et trop de brûlis, montre que la situation pourrait fortement se détériorer.

Le service actuellement rendu par les paysans en respectant les règles de la GCF sera donc bénéfique à long terme pour les populations du bassin et de la commune. Dans la pratique, la GCF assure déjà l'interdiction du *tavy* et du défrichement. Le PSE ne viendrait donc pas en complément de la GCF mais bien pour en assurer le maintien tout en facilitant l'application et l'accès à des mesures agricoles alternatives pour les paysans. Par ce système de compensation, le PSE pourrait donner du poids au dispositif de GCF et en assurer la durabilité. Ce sont plus les coûts sociaux, facteurs de conflits, qu'il conviendra de compenser, plutôt que d'acheter la valeur d'un gain hydrologique pour l'instant très relatif. Ce sera aux usagers d'en décider ensemble, et en connaissance de cause.

Laurans et al. (2011) insistent sur le fait qu'aujourd'hui les PSE sont encore largement à l'état de projets pilotes, comme celui de Tolongoina. Cela pose la question de l'extension et du changement d'échelle du projet. Le niveau réduit de sensibilisations environnementales dans les pays en voie de développement peut être un facteur limitant l'expansion de l'outil. En effet, le consentement à payer repose d'abord sur la sensibilité aux enjeux environnementaux des bénéficiaires. De plus, les modalités contractuelles engendrées sont susceptibles d'effets pervers et des précautions doivent être prises afin d'adapter l'outil aux situations économiques et sociales spécifiques. « L'insertion dans les trajectoires de développement passée est un critère décisif de succès » pour les PSE (Muradian et al., 2009 cité par Laurans et al., 2011). Cette citation pose alors la question du réel avenir et de l'impact des mécanismes de PSE sur l'environnement et sur leur intégration aux logiques plus large de développement des populations. De plus, l'effet de mode dont bénéficient aujourd'hui les PSE peut amener au développement d'initiatives peu contrôlées entraînant des déviations du mécanisme. Déjà à Madagascar, l'outil PSE a largement été repris par des ONG et institutions environnementales et de développement (WWF, APMM...). Une trentaine de PSE sont mis en œuvre sur l'île mais rares sont encore ceux ayant abouti à un paiement et à une reconnaissance entre acteurs du service concerné. Souvent, ce service n'est même pas soumis à une objectivation, ce qui engendre des conflits entre fournisseurs et bénéficiaires, qui ne reconnaissent pas son existence. Un accord mutuel autour de la définition du service, confirmé par des connaissances tant scientifiques que locales permet d'asseoir sa légitimité et de négocier la contractualisation du PSE sur des bases solides, claires et reconnues de tous les acteurs.

Références bibliographiques

Andreassian V. 2001. Histoire conjointe des eaux et des forêts. Nancy : 53-60. Session du Comité Scientifique et Technique de la SHF. N°168, 26-28 septembre 2011, Nancy, France.

Andriamahefazafy F., Bidaud C., Monnery J., Serpantié G., Toillier A. 2010. Genèse, contexte et adoption du concept de Service environnemental dans les politiques environnementales à Madagascar. Programme SERENA. Document de travail n°2010-04. 20 p.

Antona M., Bonin M. (Coord.) 2010. Généalogie scientifique et mise en politique des SE (services écosystémiques et services environnementaux). Note de synthèse de revue bibliographique et d'entretiens, WP1 : Programme SERENA. 61p.

Association des Populations des Montagnes du Monde (APMM) 2004. Plan d'Aménagement du territoire de Mandaratsy/Antarambiky : ressources en eau, sols et forêts, CI/USAID. 120p.

Aznar O., Vicard F., Herviou S. et Brétière G. 2005. Une analyse des services environnementaux produits dans un département français. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 6 (3) : 8p.

Bailly C., Benoit de Coignac G., Malvos C., Ningre J. M., Sarrailh J. M. 1974. Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications à Madagascar-Expérimentations en bassin versants élémentaires. *Supplément de bois et forêts des tropiques, Cahiers scientifiques*, 4. Centre technique forestier tropical : Nogent sur Marne. 110 p.

Ballet J. 2007. La gestion en commun des ressources naturelles : une perspective critique. *Développement durable et territoires*. [En ligne]. Varia. [29/09/2011]. <URL : <http://developpementdurable.revues.org/3961>>

Ballet J., Lopez P., Rahaga N. 2010. L'exportation de bois précieux (Dalbergia et Diospyros) « illégaux » de Madagascar : 2009 et après ? *Madagascar conservation & development*. 5 (2) : 110-116.

Barthélémy C. (2005) Les savoirs locaux : entre connaissances et reconnaissance. *Vertigo – La revue en sciences de l'environnement*, 6 (1) : 6p.

Bertrand A., Serpantié G., Randrianarivelo G. 2008. Une gestion locale durable et porteuse de développement ou un retour aux barrières : quelle place pour le transfert de gestion dans la construction des nouvelles aires protégées malgaches ? Extrait des Actes du Colloque, 39-50. Les parties prenantes de la gestion communautaire : coopération, contradictions, conflits. 1-3 juillet 2008, Antananarivo, Madagascar.

Bidaud C., Ratriamoarivony M. 2006. Terre ancestrale ou parc national ? Entre légitimité sociale et légalité à Madagascar. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. [En ligne]. 7 (2). [09/09/2011]. <URL : <http://vertigo.revues.org/2255>>.

Bidaud C., Serpantié G. et Méral P. 2011. Knowledge Mobilization in Water and Carbon PES projects implementation in Madagascar. Programme SERENA, IRD UMR GRED. 24p.

Blanc-Pamard C., Rakoto Ramiarantsoa H. 2008. La gestion contractualisée des forêts en pays betsileo et tanala (Madagascar). *Cybergeo : European Journal of Geography*. [En ligne]. 426. < URL : <http://www.cybergeo.eu/index19323.html> >.

Boly H. 2010. Le développement de l'Afrique passe par le retour aux savoirs locaux. [En ligne]. Closing the Knowledge Gap: Integrated Water Management for Sustainable Agriculture - CTA Annual seminar. 22-26 novembre 2010, Johannesburg, Afrique du Sud. <URL: <http://annalseminar2010.cta.int/blog/399-le-developpement-de-lafrique-passe-par-le-retour-aux-savoirs-locaux>>

Brand J., Barks S., Moor P. et al. 1997. Un système agroécologique dominé par le tavy : la région de Beforona, falaise est de Madagascar. *Cahiers des Etudes et recherches du projet Terre Tany/BEMA*. FOFIFA. Antananarivo. 153p.

Bromberger C. 1986. Les savoirs des autres. *Terrain - Revue d'ethnologie de l'Europe*. [en ligne]. 6 : 6p. < URL: <http://terrain.revues.org/index2890.html>>.

Bruijnzeel L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104 : 185–228.

Conservation International (CI). 2007. Biodiversity Hotspots. [En ligne]. [09/09/2011]. <URL : <http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/madagascar/Pages/default.aspx>>.

Cormier-Salem M-C., Méral P., Andrianambinina D., Feltz G., Andriamahefazafy F. 2005. Interactions entre pauvreté et dynamique de la biodiversité marine et littorale dans le sud-ouest de Madagascar. Montpellier : IRD, 5p.

Cormier-Salem M-C., Roussel B. 2002. Patrimoines et savoirs naturalistes locaux. *Développement Durable ? Doctrines, Pratiques, Evaluations*. Paris : IRD, 125-142.

Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Graso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R., Sutton P., Van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387 : 253-260.

Doyon S. 2005. Savoir environnemental local et scientifique : entre la révolution, la gouvernance nationale et le développement durable à Cuba. *Vertigo - La revue en sciences de l'environnement*, 6 (2): 9 p.

Ferraro P., Kiss A. 2002. Direct payments to conserve biodiversity. *Science*, 298: 1718–1719.

Fond international de développement agricole (FIDA) 2009. Collecter, gérer et communiquer l'information. Pour une gestion orientée vers l'impact. *Guide pratique de S&E des projets*. Module 6. [En ligne] < URL : http://www.ifad.org/operations/rims/guide/f/part1_f.pdf>.

Food and Agricultural Organisation of the United Nations (FAO) 2005. Comprendre les relations entre biodiversité agricole et savoirs locaux. *Interactions du genre, de la biodiversité agricole et des savoirs locaux au service de la sécurité alimentaire, Module 4*. Manuel de formation FAO. [En ligne]

< URL : http://www.fao.org/sd/LINKS/documents_download/Fr.modulo_4.pdf>.

Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Latin American Network for Technical Cooperation in Watershed Management (REDLACH) 2004. Electronic forum on payment schemes for environmental services in watersheds. Santiago, Chili. [En ligne]

< URL: <http://www.rlc.fao.org/foro/psa/pdf/report.pdf>>.

Forsyth T., Leach M., Scoones I. 1998. Poverty and environment: priorities for research and policy, an overview study. Institute of Development Studies. Grande Bretagne, 49p.

Friedberg C. 1992. Représentations, classifications: comment l'homme pense ses rapports au milieu naturel. *Sciences de la nature, sciences de la société, Les passeurs de frontières*. Paris : CNRS, Jollivet M. (dir.). 357-371.

Gadgil M., Berkes F., Folke C. 1993. Indigenous knowledge for biodiversity conservation. *Ambio* 22: 266–270.

Galvin M. 2004. La connaissance métisse. Une analyse de la politique de protection des connaissances traditionnelles au Pérou. Genève (Suisse) : iuéd, 372p. Thèse (Dr Etude du développement).

Georges A, Pierret A., Boonaser A. 2009. Potential and limitations of Payments for Environmental Services (PES) as a means to manage watershed services in mainland Southeast Asia. *International Journal of the commons*. 3 (1): 16-40.

International Council for Science (ICSU). 2002. Science, traditional knowledge and sustainable development. *Science for Sustainable Development*. 4: 24p.

Karsenty A. 2011. Atelier de lancement du projet PESMIX. 10 et 11 mai 2011, Antananarivo, Madagascar. Présentation de lancement de l'atelier.

Karsenty A., Sembrés T., Perrot-Maître D. 2009. Paiements pour services environnementaux et pays du Sud : La conservation de la nature rattrapée par le développement ? Montpellier : INRA, SFER, CIRAD. 20p.

Laurans Y., Leménager T., Aoubid S. 2011. Les paiements pour services environnementaux. De la théorie à la mise en œuvre, quelles perspectives dans les pays en développement ? Paris: AFD. 215p. (A Savoir, n. 07).

Lescuyer G. (2010) Pré-requis institutionnels et socio-économiques à la mise en place d'un PSE. CIFOR-CGIAR. 18p.

Marie C., Sibelet N., Dulcire M., et al. 2009. Taking into account local practices and indigenous knowledge. An emergency conservation context in Madagascar. *Biodiversity and Conservation*. 18 : 2759-2777.

- Mayrand K., Paquin M. 2004. Le paiement pour les services environnementaux : Étude et évaluation des systèmes actuels. Montréal : Unisféra international center. 67p.
- Mengue-Medou C. 2002. Les aires protégées en Afrique : perspectives pour leur conservation. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*. 3 (1). [Mis en ligne le 01 avril 2002] <URL : <http://vertigo.revues.org/4126>>.
- Méral P. 2010. Les services environnementaux en économie : revue de la littérature. Document de travail. Programme SERENA n° 2010-05. 44p.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington DC.
- Moller H., Berkes F., Lyver P.O., Kislalioglu M. 2004. Combining science and traditional ecological knowledge: monitoring populations for co-management. *Ecology and Society* 9 (3): 2p. [En ligne] <URL : <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art2>>.
- Moyen C. 2010. Etude d'accompagnement à la mise en place d'un dispositif de « Paiement pour Services Environnementaux » de régulation hydrologique dans la commune de Tolongoina (Madagascar). Montpellier : IRD, 90p. Mémoire (Ingénieure ENGEES).
- Pagiola S., Arcenas A., Platais G. 2005. Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America. *World Development*, 33(2): 237-253.
- Rakotonirina L. A. 2006. Diagnostic du risque érosif en pays Tanala : Cas des villages d'Ambalavero et d'Ambodivanana (Commune rurale de Tolongoina, Fianarantsoa). Antananarivo : ESSA, 141 p. Mémoire (Ingénieur en agronomie).
- Rakotoson D.J., Rakotonirina L.A., Serpantié G. 2010. Mobilizing farmers' knowledge of the soil. Landa E.R. (ed.), Feller Christian (ed.), Descola P. (préf.) *Soil and culture*. Dordrecht : Springer, 2010, 287-309.
- Raymond C., Bryan B., MacDonald D., Cast A., Strathearn S., Grandgirard A., Kalivas T. 2009. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics*. 68 (5) : 1301-1315.
- Rey P. 2009. Quelle « base » pour les approches ascendantes ? Une redéfinition de l'approche participative dans la construction des politiques de gestion des ressources naturelles en maritime. *Vertigo – La revue en sciences de l'environnement*. 9 (1) : 12p.
- Roué M., Nakashima D. 2003. Savoirs locaux : l'expertise écologique des Indiens. *Sciences Humaines, Les savoirs invisibles*. 137 : 28-31.
- Serpantié G., 2009 « L'agriculture de conservation » à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *Vertigo*. 9 (3) : 1-21.

Serpantié G. 2008. Mieux négocier les règles techniques de la gestion contractuelle des forêts. Cas d'une filière bois artisanale dans le corridor Ranomafana-Andringitra. Antananarivo, ESSA, 25p. Les parties prenantes de la GCRN. 1 au 3 juillet 2008, Antananarivo, Madagascar.

Serpantié G., Henckel L., Toillier A. 2009. Valorisations économiques globales vs locales des sites de conservation des forêts tropicales : divorce ou alliance ? Le corridor Ranomafana-Andringitra (Madagascar). Montpellier, IRD, 20p. Colloque de l'ASRDLF, Association de Science Régionale de Langue Française, 6-8 juillet 2009, Clermont-Ferrand (France).

Serpantié G., Rasolofoharinoro, Carrière S. (Eds) 2007. Transitions agraires, dynamiques écologiques et déforestation. Le « corridor » Ranomafana-Andringitra, Madagascar. Antananarivo : CITE-IRD. 278p.

Toillier A. 2009 a. Capacités d'adaptation des agriculteurs à la conservation des forêts dans le corridor Ranomafana-Andringitra (Madagascar) Perspectives pour un aménagement intégré des territoires. Montpellier: Agro Paris Tech, 537p. Thèse (Dr Géographie).

Toillier A. 2009 b. Etudes des possibilités de mise en œuvre d'un PSE pour la protection du bassin versant de la microcentrale hydroélectrique de Tolongoïna, (Madagascar). Antananarivo: GRET. 150p.

Toillier, A., Andriamahefazafy, F., Cahen-Fourot, L., Serpantié, G. et P. Méral, 2011. Les PSE-eau à Madagascar : une gouvernance à deux vitesses. Programme Serena, Document de travail n°2011-11, 20 p.

Wunder S. 2005. Payments for environmental services: some nuts and bolts. CIFOR, Occasional Paper 42.

Table des annexes

ANNEXE I : Carte des ethnies à Madagascar	81
ANNEXE II : Calcul économique de financement du PSE (Gret, 2010)	82
ANNEXE III : Méthodes de récoltes de données hydrologiques en 2010	84
ANNEXE IV : Estimation des débits journaliers (Moyen, 2010)	86
ANNEXE V : Interface du modèle GR4j sous Excel	89
ANNEXE VI : Perception paysanne en termes de ruissellement et d'érosion dans les deux sites	90
ANNEXE VII : Questionnaire de l'enquête socio-économique de Michèle Raheisambatra (2009)	92
ANNEXE VIII : Liste des entretiens réalisés auprès des acteurs de la région en vue de l'identification d'alternatives agricoles à proposer aux paysans d'Andasy	96
ANNEXE IX : Grille d'enquête pour les acteurs de la région de Tolongoïna	97
ANNEXE X : Grille de l'enquête « filière »	99
ANNEXE XI : Fonds de carte utilisés pour l'atelier participatif	101
ANNEXE XII : Déroulement détaillé de l'atelier participatif	103
ANNEXE XIII : Résultats de l'optimisation du modèle GR4j	108
ANNEXE XIV : Courbes de simulation des débits à l'exutoire du bassin d'Andasy en fonction de différents scénarii	110
ANNEXE XV : Analyse des correspondances multiples	112
ANNEXE XVI : Représentation spatiale des différents types d'exploitations	113
ANNEXE XVII : Poster utilisés lors de la réunion de restitution	114

ANNEXE I : Carte des ethnies à Madagascar.



(Source : <http://madagascar.softiblog.com/post/2008/10/13/Les-18-ethnies-de-Madagascar>)

ANNEXE II : Calcul économique de financement du PSE (Gret, 2010).

Le scénario de gouvernance confère à la commune un rôle central et le financement du service se fait au travers d'une taxe communale incombant aux consommateurs (les habitants de la commune de Tolongoïna). Cette taxe communale, fixée à 10% de la facturation électrique (selon l'arrêté n°3910/2009), couvrira les frais liés à l'éclairage public et aux charges de fonctionnement et la gestion du BV à hauteur des frais calculé par le contrat de PSE.

Les frais liés à l'éclairage public et aux charges de fonctionnement comprennent :

- La consommation en éclairage public ;
- Le contrôle du service de l'électricité par une structure indépendante et la maintenance ;
- Le subventionnement du raccordement des ménages ;
- Le développement de l'électrification de la commune.

Toutes ces tâches doivent être comprise dans la taxe, obligatoirement inférieure à 10% de la facture, et incluant les frais liés au financement du SE. De plus, cette tarification s'applique à une population à faibles moyens financiers.

L'estimation du coût du SE présentée ci-dessous présente l'évolution du coût sur les premières années de la mise en œuvre du PSE, jusqu'à atteindre une phase de fonctionnement. Les frais liés au démarrage de l'activité sont alors écoulés.

Années	Etape	Activités	Coût Max	Coût Max
			€	Ar
-1	Coûts de démarrage	<ul style="list-style-type: none"> - Identification et consultation des parties prenantes - Elaboration d'un programme de sensibilisation - Formation d'un comité de BV et d'un comité technique - Collecte de données pour quantifier les menaces sur les SH et caractériser les dynamiques agricoles - Elaboration concertée d'un schéma d'aménagement et évaluation du cout du SE - Négociations des termes du contrat et signature 	1 400	4 200 000
0 à 2	Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - Application des termes du contrat - Survi-évaluation 	2 000	6 000 000
3 et 4	Pérennisation des activités	<ul style="list-style-type: none"> - Application des termes du contrat - Survi-évaluation 	1 000	3 000 000
	Fin d'année 5 : gestion adaptative	<ul style="list-style-type: none"> - Révision du schéma d'aménagement si nécessaire - Révision du cout du SE et des termes du contrat si nécessaire 		
5 à... ?	Mise en œuvre si changement des termes du contrat Sinon entretien de certaines activités nécessairement payantes	A définir	< 1 000	< 3 000 000

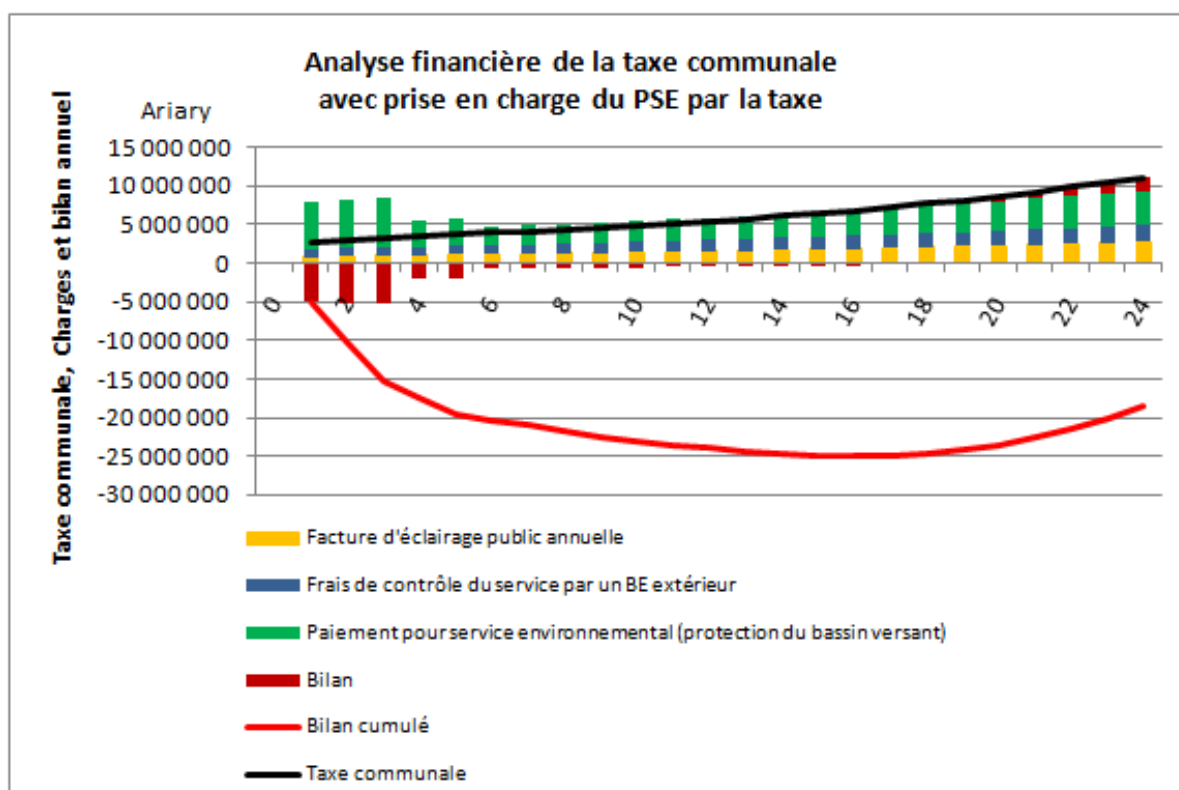
(Source : GRET, 2010).

- l'année -1 correspond à la définition du schéma de PSE, soit de l'étude de faisabilité à la signature du contrat.
- L'année 0 est l'année de signature du contrat et de construction des installations.
- les années 0 à 2 regroupent les principaux investissements réalisés, avant la finition de la construction et le raccordement des ménages.
- les années 3 et 4 correspondent à la pérennisation des activités d'électrification et d'activités garantissant le SE.
- en fin d'année 4, le schéma PSE doit être évalué pour rendre compte de son fonctionnement et de l'évolution du SE. Une étude de coût devra alors être réalisée. La durée du contrat de PSE pourra alors être définie. Soit à durée déterminée (cas général des PSE), soit à durée indéterminée si le contrat est basé sur les coûts d'entretien d'activités mises en place.

L'analyse financière de la taxe communale permet de vérifier la viabilité de cette taxe de 10% pendant toute la durée de la concession, soit 25 années.

L'éclairage public est calculé sur une base de 32 lampes (20W) fonctionnant de 18h à 5h. Le coût du contrôle du service de l'électricité est évalué à 1 000 000Ar par année (équivalent à 330€/an). Enfin, le coût du service est tablé sur l'évaluation détaillée dans le tableau.

Le bilan des coûts est négatif jusqu'à la 16^{ème} année, nul les années 17 à 19, puis positif en année 20.



(Source : GRET, 2010)

Le bilan financier fait apparaître la nécessité d'un financement complémentaire au moins pour les phases de démarrage du PSE dont les coûts de démarrage sont les plus élevés.

ANNEXE III : Méthodes de récoltes de données hydrologiques en 2010.

En 2010, une campagne de suivi hydrologique a permis d'obtenir des résultats quant à l'impact de la couverture du sol sur le ruissellement dans le bassin. Les données suivantes étaient disponibles.

Les périodes particulièrement sensibles au ruissellement ont été ciblées :

- Le début de la saison des pluies (novembre à décembre);
- La saison cyclonique (janvier à mars).

Une période de basses eaux mais pouvant aussi donner lieu à de fortes averses (mai à juillet)

La pluviométrie



Les données pluviométrique sont mesurées grâce au pluviomètre, adapté aux objectifs et conçu par A. Rakotonirina. Il est aux normes climatologiques (réception horizontale de 400 cm² à un mètre, sur espace ouvert). Sa surface réceptrice est de forme carrée. Elle surmonte un entonnoir relié à un tuyau souple alimentant un jerrycan enterré. Le pluviomètre est installé à Andasy. Chaque jour entre 8h et 9h, notre observateur, Célestin un paysan du bassin, vide le jerrycan dans un ou plusieurs flacons plastique de 25cl, et y note la date et l'heure.

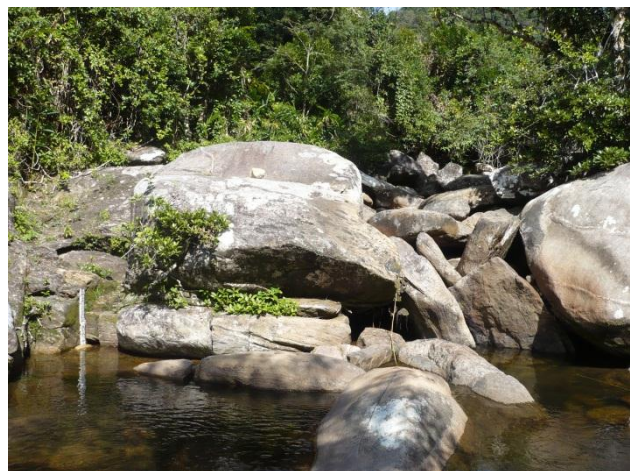
Installation du pluviomètre (Roche, 2011).

Les bouteilles sont rebouchées et stockées. Le volume d'eau est mesuré dans une éprouvette graduée en ml au passage des ingénieurs. Le pluviomètre est placé au centre du sous bassin agri-forestier, sur une place dégagée.

Les échelles limnimétriques

Le niveau d'eau des 2 ruisseaux du bassin d'Andasy est relevé grâce à l'installation d'une échelle limnimétrique dans chaque cours d'eau. Elles sont aux normes climatologiques et sont de fabrication locale. Les ruisseaux sont chacun situés dans un sous bassin.

Ces niveaux d'eau sont relevés quotidiennement et permettent de connaître la hauteur du ruisseau au moment de la lecture. Les échelles ont été installées dès le début de l'intervention de Serena.



Echelle limnimétrique du site 1 (Poussin, 2011).

Le jaugeage des débits

Le jaugeage des débits a nécessité plusieurs méthodes en fonction de la disponibilité du matériel.

Pour le jaugeage au sel, un conductimètre a été emprunté au GRET lors des périodes de disponibilité, la méthode de jaugeage et le logiciel mis au point par J.Levet ont été utilisés.

La mesure de vitesse au flotteur immergé (flacon de 25cl à moitié plein et jeté au centre du cours d'eau), et application d'un coefficient pour obtenir la vitesse moyenne de l'eau. La gamme de coefficients varie de 0,4 à 1 (eau parfaitement canalisée).

La mesure de la section mouillée a été pratiquée en basses eaux au milieu du tronçon de mesure de vitesse. On utilise une corde tendue entre les deux rives et nivelée à l'aide d'un tuyau transparent rempli d'eau. La corde est placée à la hauteur atteinte par les plus hautes crues (cyclones). On déduit des mesures de profondeur la surface mouillée à toutes les hauteurs de jaugeage.

En plus des données relevées sur le bassin d'Andasy, le projet dispose d'une station climatologique près de Ranomafana. La station fournit des données tels que le rayonnement, la direction du vent, la température, les précipitations... Cela nous permet de renseigner le « climat de la falaise » auquel appartient le bassin.



Station météorologique IRD-MNP installée à l'entrée du parc de Ranomafana (Roche, 2011).

ANNEXE IV : Estimation des débits journaliers (Moyen, 2010).**Jaugeage du débit du bassin 1.**

Le tableau suivant reprend les mesures de débit effectuées sur le site 1 par différentes méthodes.

date	Hauteur échelle (cm)	Section mouillée (m ²) section arrivée	vitesse flotteur mesurée section arrivée (m/s)	débit L/s bouchon (coefficient 0,8)	débit sel (l/s)	vitesse déduite du débit sel (m/s)	données retenues	méthodes
niveau0	1	0,0				0	0	Topographie
02/11/09	26	0,3			140	0,43	140	Conductimétrie
02/12/09	37	0,6	0,32	151			151	flotteur
09/12/09	58	1,2	1,16	1158			1158	flotteur
10/12/09	63	1,5	1,41	1645			1645	flotteur
04/03/10	142	8,4						
29/03/10	36	0,6			315	0,56	315	Conductimétrie
24/05/10	26	0,3			185	0,57	185	Conductimétrie
23/07/10	52	1,3			1483	1,16		Conductimétrie

Tableau : Mesures des débits pour le site 1 (Moyen, 2010).

Une analyse critique des valeurs obtenues montre que les mesures de débit du 10/12/2010 et du 24/05/2010 semblent trop élevées compte tenu de la hauteur lue sur l'échelle et de la comparaison avec les autres sites.

Le débit calculé à partir de la vitesse mesurée du flotteur nécessite d'appliquer un coefficient. Ce coefficient doit être proche de 1, ainsi la littérature propose une valeur de 0,9 pour une eau parfaitement canalisées, ce qui n'est pas notre cas. Par tâtonnement, nous décidons de retenir la valeur de 0,8 pour ce coefficient nous permettant de calculer le débit à partir de la vitesse mesurée du flotteur.

Afin de vérifier la compatibilité des mesures de vitesse au bouchon et les mesures par conductimétrie, la vitesse des mesures effectuées par conductimétrie est déduite et les vitesses sont comparées. Suivant le graphique ci-dessous, les mesures de vitesse au bouchon et par conductimétrie sont donc compatibles.

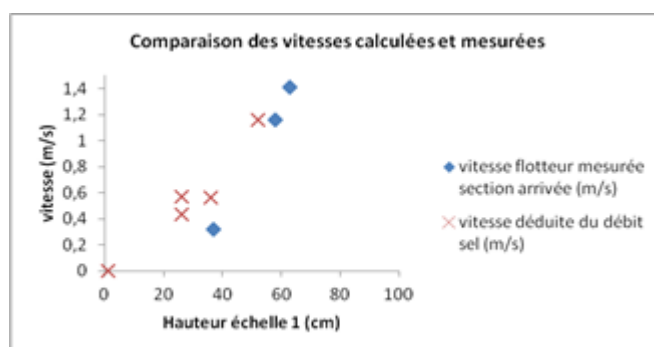


Figure : Comparaison des vitesses calculées et mesurées pour le jaugeage des débits (Moyen, 2010).

Il est donc possible d'établir des courbes de tarage qui permettront pour le reste de l'étude d'évaluer le débit en fonction de la hauteur lue sur les échelles limnimétriques. La courbe de tarage obtenue est une fonction polynomiale d'ordre 2 (le point aberrant du 24/05/10 a été mis de côté). Cependant, celle-ci coupe l'axe des abscisses lorsque la hauteur limnimétrique est

inférieure ou égale à 37cm (débit négatif !). Deux courbes sont réalisées afin de distinguer les cas où la hauteur lue est supérieure ou inférieure à 37 cm (Moyen, 2010).

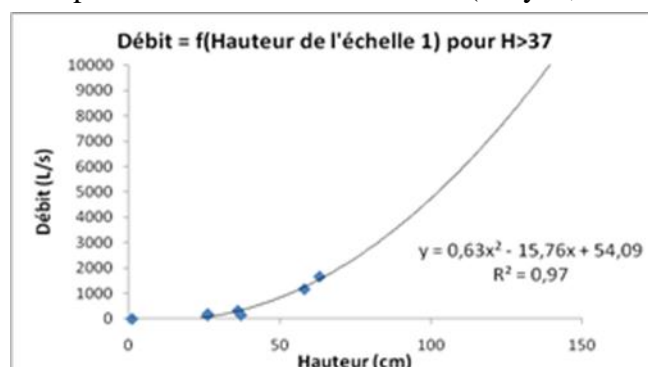


Figure : Courbe de cible $Q=f(H)$ pour le site 1, cas des hauteurs supérieures à 37 cm (Moyen, 2010).

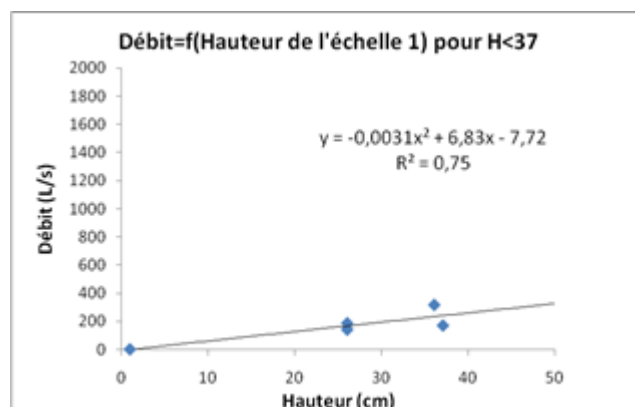


Figure : Courbe de cible $Q=f(H)$ pour le site 1, cas des hauteurs inférieures à 37 cm (Moyen, 2010).

Jaugeage des débits du bassin 2.

La méthode du colorant remplacera celle du flotteur sur le site 2 car le cours d'eau est plus petit et moins perturbé (moins de dispersion du colorant). De plus la méthode du flotteur est plus difficile à mettre en place dans un petit cours d'eau.

date	Hauteur échelle (cm)	Section mouillée (m2)	Vitesse teinture	Vitesse moyenne teinture (0,33)	débit (L/s)	Vitesse flotteur	Vitesse moyenne flotteur (0,8)	débit (L/s)	débit sel (L/s)	Vitesse moyenne sel	débits retenus	méthode
	10	0,0									0	topo
02/11/09	28	0,3							28	0,08	28	conductimétrie
02/12/09	28	0,3	0,3									colorant
09/12/09	31	0,4	1,2	0,40	164						164	colorant
10/12/09	33	0,5	1,8	0,59	277						277	colorant
04/03/10	112,5	4,1										
29/03/10	30	0,4							83	0,22	83	conductimétrie
24/05/10	26	0,3							29	0,10	29	conductimétrie
24/05/10	26	0,3				0,1	0,1	27,3			27	flotteur
23/07/10	38	0,6							197	0,33		conductimétrie

Tableau : Mesure des débits pour le site 2 (Moyen, 2010).

Pour que la vitesse moyenne soit comparable avec la méthode au sel, il convient d'appliquer un coefficient plus faible que pour le flotteur, car l'observation du colorant mesure le courant le plus rapide. Nous avons donc choisi un coefficient minimal (1/3). De cette manière, les mesures de vitesses et les calculs de vitesse par mesure au sel correspondent. Une mesure aberrante au sel a été éliminée (23/07/2010) de même qu'une mesure au colorant (02/12/2009).

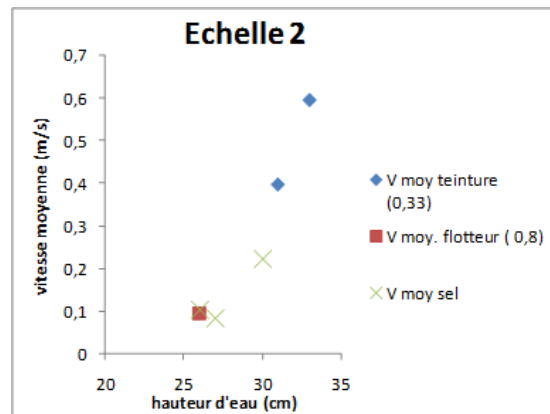


Figure : Relation /vitesse (m/s) hauteur (cm) sur les sections jaugées.

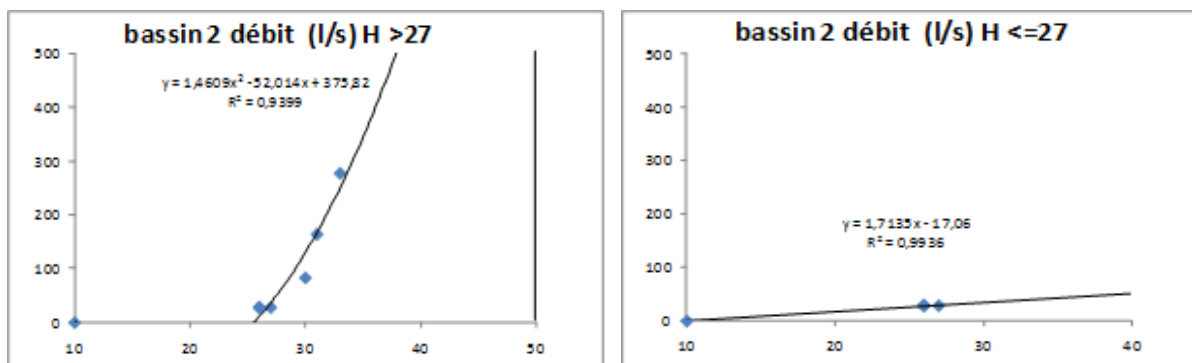


Figure : Relations hauteurs-débits pour l'échelle 2.

ANNEXE VI : Perception paysanne en termes de ruissellement et d'érosion dans les deux sites.

Informations

Date
Nom de l'informateur
Habitation
Date d'arrivée sur le bassin

1- Ruissellement au niveau des parcelles

Banane dense

Lieux (topographie)
Fréquence pour chaque type de lieu (n fois par an)
Périodes d'apparition
Conditions d'apparition
Impacts sur la culture
Impacts dans les cours d'eau
Couleur de l'eau après la pluie

Banane peu dense

Lieux
Fréquence pour chaque type de lieu (n fois par an)
Périodes d'apparition
Conditions d'apparition
Impacts sur la culture
Impacts dans les cours d'eau
Couleur de l'eau après la pluie

Manioc

Lieux
Fréquence pour chaque type de lieu (n fois par an)
Périodes d'apparition
Conditions d'apparition
Impacts sur la culture
Impacts dans les cours d'eau
Couleur de l'eau après la pluie

Riz pluvial

Lieux
Fréquence pour chaque type de lieu (n fois par an)
Périodes d'apparition
Conditions d'apparition
Impacts sur la culture
Impacts dans les cours d'eau
Couleur de l'eau après la pluie

Autres cultures (à préciser)

Lieux
Fréquence pour chaque type de lieu (n fois par an)
Périodes d'apparition
Conditions d'apparition
Impacts sur la culture

Impacts dans les cours d'eau
Couleur de l'eau après la pluie

2- Formes d'érosion connues

Lieu
Fréquence (n fois par an)
Période d'apparition
Mesures de protection
Rôle des végétations en amont

3- Crues au niveau bassin agricole

Zone où elles sont fréquentes (Types de ruisseau, localisation dans le BV...)
Origine de l'eau
Couleur de l'eau
Niveau maximum
Fréquence
Dégâts relevés

4- Crues au niveau bassin forestier

Zone où elles sont fréquentes (Types de ruisseau, localisation dans le BV...)
Origine de l'eau
Couleur de l'eau
Niveau maximum
Fréquence
Dégâts relevés

ANNEXE VII : Questionnaire de l'enquête socio-économique de Michèle Raherisambatra (2009).

- Date et heure d'enquête :
- Numéro de case (carte) :
- Nom du lieu-dit :
- Numéro du point GPS :

I- Composition de la famille : *(Les personnes qui vivent sous le même toit et qui partagent les mêmes récoltes)*

1. Nom et prénom du chef de ménage : âge :
 Nom et prénom de sa femme : âge :

Sexe	Age	Ecolier (o/n)	Sexe	Age	Ecolier (o/n)

2. Composition actuelle *(nombre exact)* :

II- Historique d'installation:

1. Origine du chef de ménage :
 Origine de sa femme :
2. Si migration, raconter l'histoire *(date et condition d'arrivée)*:
3. Date de création de l'exploitation et conditions de démarrage *(nom du 1^{er} lieu-dit d'habitation : héritage, défriche, achat)*:

III- Composition actuelle du territoire de l'exploitation :

1. Nom des lieux dits où il possède des champs *(Faire un croquis : par rapport à la case. Ne pas oublier les champs hors BV)*

2. Caractéristiques des champs sur pente

Num LD	Num Dom	Num cha.	Type de culture	Date 1 ^{ere} défriche	Date et mode acquisition	Cycles cultureux	Caractéristiques de la culture en cours	Fertilisation	Changements récents	Problèmes particuliers	Projets

• Caractéristiques des rizières

Num LD	Num Dom.	Num cha.	Date et Mode acquisition	Date 1 ^{ere} aménagement	raisons	Semis et rendements	Fertilisation	Changements récents	Problèmes particuliers <i>(labour, drainage, rendements..)</i>

4. Projet sur le territoire de l'exploitation (nouvel aménagement, achat ou vente...), pourquoi ?

IV- Élevage

1. Zébus :

Nombre	Depuis quand Si changement, pourquoi	Parc à bœuf ou en liberté en forêt	Individuelle ou collectif	Lieu de pâturage	Type d'affouragement <i>(ce que mangent les zébus)</i>	Utilisation

2. Volailles :

Types	Nombre	Lieu	Consommation ou vente

3. Porcs :

Nombre	Lieu	Type : pour engraissement ou pour naisseur	Depuis quand	A quelle fréquence	Pourquoi	Problèmes rencontrés

V- Principales sources de revenus

1. Les trois principales sources de revenus, (à classer dans l'ordre)

Source de revenus	Revenu annuel moyen	Fréquence (journalière, mensuelle...)	Quantité et prix de vente	Lieu (vente ou salariat)

2. Dans quoi dépensez-vous les revenus actuels ?

3. Changement ces dernières années (depuis COBA, 2007) :

Y- a- t-il eu des activités très rémunératrice arrêtées ? Si oui lesquelles, quand et pourquoi ?

Par quoi les avez-vous remplacées ? Quelles difficultés avez-vous rencontrées pour effectuer ces changements ?

VI- Bilan alimentaire

1. Mangez-vous du riz toute l'année ? Quelle est la période où vous n'en mangez pas du tout ?

Quelle est la période où vous en achetez ?

2. Période d'achat et de consommation du riz :

	Nombre de fois par jour	Qu'y a-t-il dans les repas sans riz ?
Période d'achat		
Période de consommation des récoltes		

3. Où achetez-vous le riz ? (*riz contre travail, emprunt, lien avec betsileo*)

VII- Relations techniques, vie associative et attentes

1. Appartenez-vous à une association ? Si oui, laquelle/lesquelles ?

Nom Association	Date adhésion	Activités pratiquées

Si pas membre de la COBA, pourquoi ?

2. Avez-vous déjà reçu des aides techniques agricoles ?

Si oui, lesquelles ?

Quand ?

Par qui ?

Adoption des techniques proposées (*oui, non, pourquoi*)

3. Quelles aides techniques voudriez-vous avoir ? Que voulez-vous améliorer dans votre exploitation agricole ?
4. Qu'aimeriez-vous changer dans votre mode de vie de façon générale?
5. Comment voyez-vous l'avenir de vos enfants ? Que feront-ils comme activités pour vivre ?

ANNEXE VIII : Liste des entretiens réalisés auprès des acteurs de la région en vue de l'identification d'alternatives agricoles à proposer aux paysans d'Andasy.

- Collecte d'informations auprès des paysans d'Andasy sur le climat et le maraîchage en réunion collective.
- Enquêtes sur le marché à Madiorano et Tolongoïna.
- Entretiens auprès de quelques personnes ressources à Madiorano et Tolongoïna.
- Entretiens auprès des institutions régionales à Fianarantsoa.

Institution / acteur	Personne rencontrée	Observations
Association AINGA	Razaivaovololoniaina Helinoro, Directeur exécutif de l'association AINGA.	Acteur dans la zone de Tolongoïna entre 2003 et 2007 sur la santé et l'environnement
Association HAONASOA	Randriambololona Gerald, Monitoring and Evaluation Manager, Expert en ingénierie de l'environnement, spécialiste en développement local	Intervenant dans la partie ouest du corridor, sous-traitant de CI dans le cadre de la réduction de la pression sur le corridor et la mise en place de la NAP
ONG NyTanintsika	MAHATAMANA Zafimanahakadit Dadah, Responsable du projet de Tanintsika - Tolongoïna	Intervenant dans la zone Est du corridor, sous-traitant de CI dans le cadre de la réduction de la pression sur le corridor et la mise en place de la NAP
SAHA Betsileo	Mr Naina, Responsable régional Saha Betsileo	N'ayant pas des activités dans la zone de Tolongoïna
Direction Régionale du Développement Rural – Haute Matsiatra	Mr Alfred, chef de service du génie rural et intérimaire de la DRDR	-
Conservation International	Mr Jean RAZAFITSOTRA, Régional Manager	Principal acteur de la conservation du corridor et la mise en place de la NAP

ANNEXE IX : Grille d'enquête pour les acteurs de la région de Tolongoïna.

Présentation de notre projet

Analyse des projets mis en place dans la région de Tolongoïna pour permettre de développer des scénarios d'aménagement du bassin versant d'Andasy dans l'optique du PSE, de la conservation du service hydrologique et du développement des populations.

Historique

Objectifs de l'organisme
Sites et date d'intervention
Projets mis en place

Organisation de l'association

Organigramme

Y a-t-il des antennes sur chaque site d'intervention ou les antennes sont plutôt régionales ?

Y a-t-il formation de formateurs sur les sites d'intervention ou les formateurs (ou bénéficiaires) se déplacent ?

Travaillez-vous en partenariat avec des associations pour mettre en place vos activités ?

Quels sont les financements de l'association ?

Activités

Quelles sont les activités développées par l'association ?

Comment se fait le choix des projets qui sont mis en place ? (étude de terrain, enquêtes, sur expérience d'autres projets ? Si oui lesquels ?...)

Les paysans sont-ils consultés lors de ce choix ? Peuvent-ils choisir parmi une liste de projet ?

(Pour Ny Tanintsika trouver la liste des projets qui a été proposées aux paysans ? Le choix a été fait seulement par eux ou ils ont été conseillés ?)

Quels sont les conditions nécessaires pour être bénéficiaires des projets de l'association ?

Comment sont impliqués les bénéficiaires dans le projet ? (formation d'association au niveau villageois ? autres ?...)

Y a-t-il des formations proposées ? Quelles sont les formations dispensées ? Les intrants nécessaires sont-ils fournis ?

Y a-t-il autour du projet un développement d'infrastructures ? Par exemple organisation autour d'un collecteur, organisation de l'exportation de la production ou c'est aux bénéficiaires du projet de se débrouiller ?

Y a-t-il eu des problèmes particuliers lors de la mise en place des projets ?

Région de Tolongoïna

Avez-vous déjà travaillé ou travaillent ils en ce moment sur la région de la falaise ?

Quels sont les projets développés là-bas ?

Développer par type de projet les ITK, les possibilités de débouchées,

Le climat est particulier, ont-ils une expérience de ce milieu concernant les projets agricoles ? Comment ce climat particulier est-il pris en compte dans les projets proposés dans cette zone ?

Avez-vous déjà entendu parler de la notion de « sol manara » dans la région ? Si oui, développer sur la définition, comment palier à ce phénomène et quelles sont les cultures à développer.

Quelles sont les techniques qui ont été nouvellement introduite dans la zone ? Ont il travailler sur des techniques déjà existantes qu'il été nécessaire de renforcer ou sur des techniques complètement nouvelles ?

Les techniques développées ont-elles été bien appréhendées et réappropriées par les paysans de l'association ?

Si les projets sont terminés, y a-t-il des mesures de suivi qui ont été élaborées et si oui quels sont les résultats de ces suivis ?

Y a-t-il eu des problèmes concernant l'acceptation de certains projets ?

Connaissez-vous d'autres projets qui travaillent dans la région ?

ANNEXE X : Grille de l'enquête « filière ».

Nom et prénom de l'enquêté

Type de fonction dans la filière (intermédiaire et détaillant)

Activité principale ?

(Mettre en évidence les créneaux saisonniers)

Légumes vendus	Proven- -ance de la produc- -tion	Fréquence d'approvi- sionnement	Problèmes d'approvi- sionnement	Prix d'achat (par saison)	Prix de vente (par saison)	Période d'abon- dance ou de rareté	Saison la plus rémunéra- trice pour le commer- çant	Problèmes rencontrés	Sugges- -tions

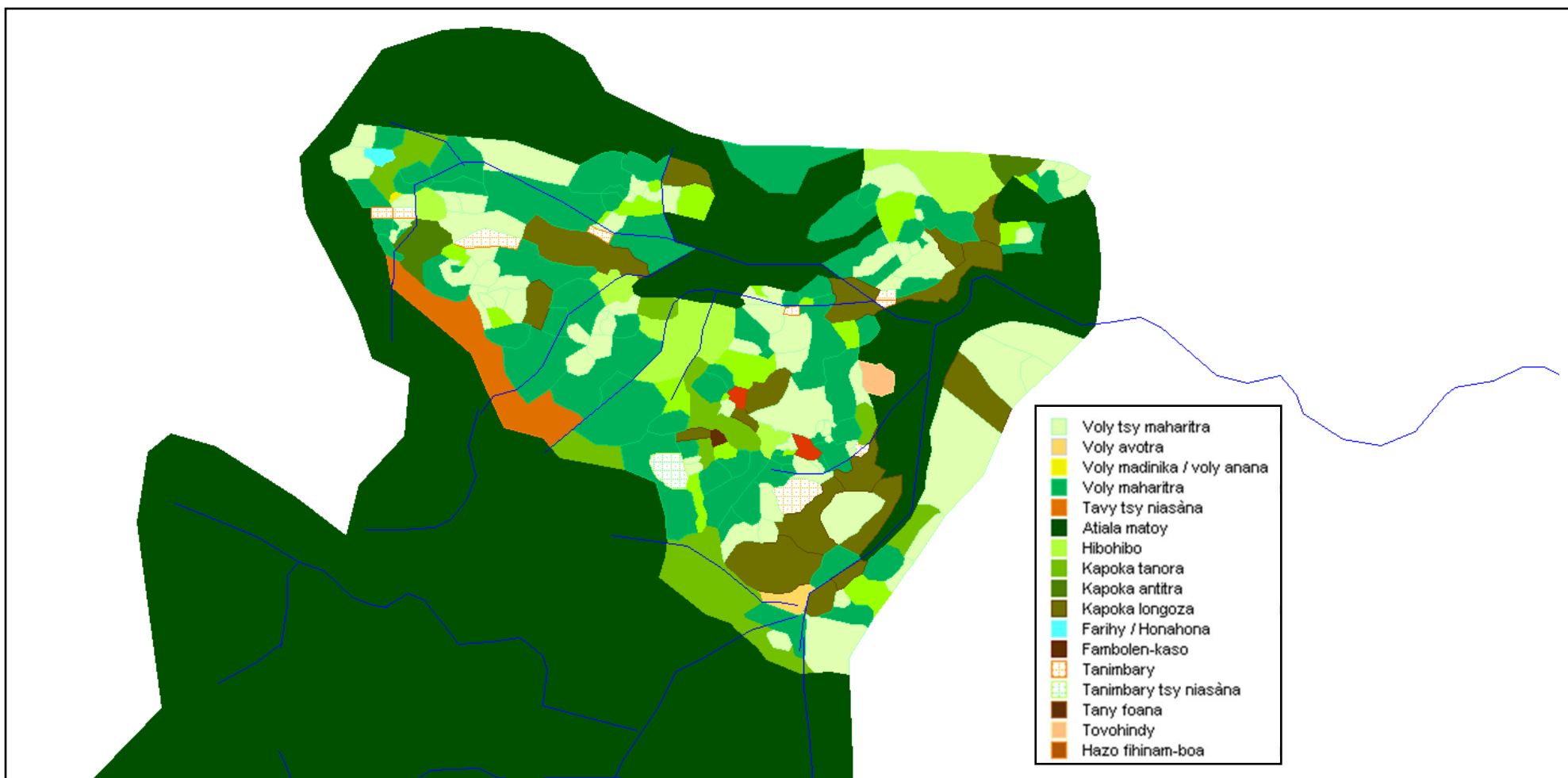
Producteurs

Nom et prénom

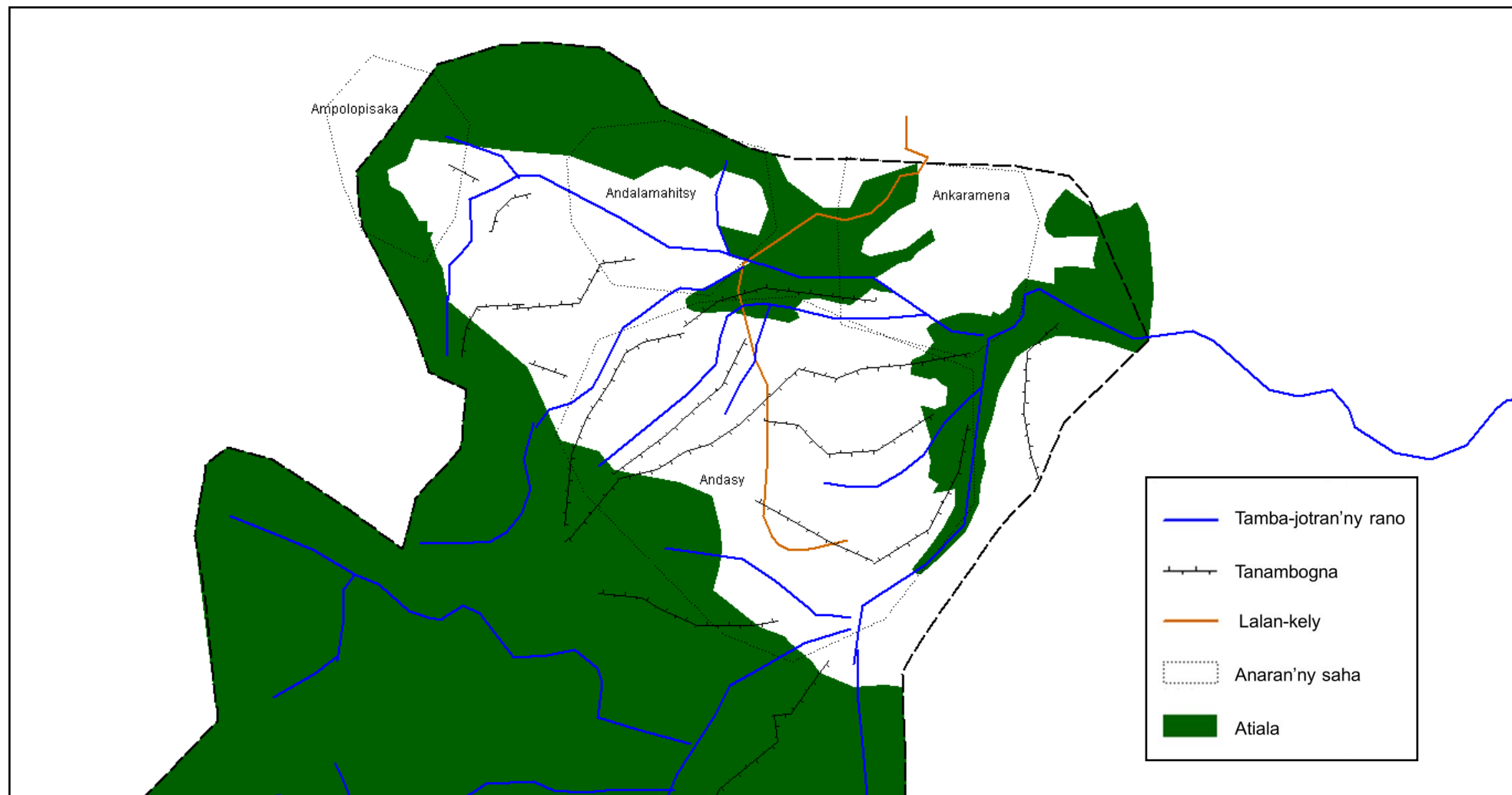
Activité principale ?

Types								
Variétés plantées Variété(s) la/les plus adaptée(s)								
Origine des variétés (traditionnelle, introduite...)								
Historique de la plantation (depuis quand ? par quelle occasion ?)								
Lieu de plantation (champ de bas fond ? sur <i>tanety</i> ? position topographique ? pente ? etc								
Les itinéraires techniques par lieu de plantation (bas fond = labour ? <i>tanety</i> = semis direct ?...)								
Connaissance des itinéraires par tradition ? formation ?								
calendrier culturel								
Le rendement de production								
Destination des produits (autoconsommation ? vente ?) Cas de vente : quel prix ? vers quel marché ?								
Problèmes techniques rencontrés								
Problèmes de la filière et suggestions d'amélioration ?								
Point de blocage au développement de cette filière ? (semences, débouchés...)								

ANNEXE XI : Fonds de carte utilisés pour l'atelier participatif.



1. Carte de l'occupation des sols dans le bassin.



2. Carte de la zone agricole du bassin versant.

ANNEXE XII : Déroulement détaillé de l'atelier participatif.

Afin de répondre à l'ensemble des objectifs de l'atelier, nous proposons un atelier en 4 étapes. La réunion se déroule sur une journée (le 19 août 2011), dans le bassin d'Andasy et en plénière. Cela permet :

- Aux paysans d'être plus à l'aise car sur son territoire
- D'avoir une meilleure représentation que donnent les cartes car il est facile de se repérer directement et de vérifier certaines erreurs directement sur le terrain.

Pour cela, le matériel sera amené de Madiorano (table, chaises, tableau...) pour disposer les participants de façon à ce que tous puissent intervenir, et pour présenter les résultats sous différentes formes : maquettes de territoire, tableaux récapitulatifs au mur...

Tous les paysans du bassin sont invités à l'atelier, ainsi que les représentants du Gret et de la centrale. Les paysans sont prévenus suffisamment à l'avance de l'événement pour que le maximum de personnes puisse s'organiser et participer.

La commune n'est invitée qu'à l'étape 4 de l'atelier, c'est à dire au moment de la présentation générale des résultats et de la clôture de l'atelier. Ce choix a été fait afin que les paysans invités puissent s'exprimer librement au cours des premières étapes (Les interdictions de défriche - brûlis auxquelles les paysans sont confronté depuis 2007 ont été mis en place par la commune. Cette situation a engendré un conflit entre les paysans du bassin et la commune qui n'a pas proposé d'alternatives à ces *dina*).

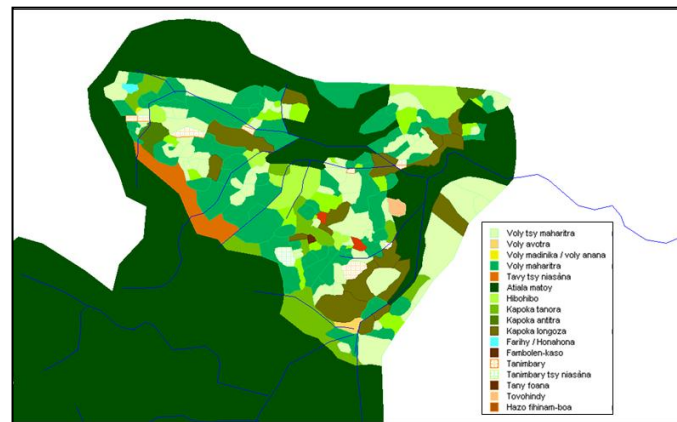
En introduction de l'atelier, il est expliqué ce qui va être fait pendant l'atelier, le déroulement et les 4 étapes sont succinctement expliqués. L'atelier est resitué dans la démarche de construction du PSE pour une meilleure compréhension des enjeux et des résultats attendus. Il est bien expliqué aux paysans que cette réunion permet la validation de résultats scientifiques qui ont été développé grâce aux nombreuses enquêtes effectuées auprès des paysans. Cette validation permet d'avancer dans la conception du schéma PSE, elle va aider à formuler certaines bases du contrat de PSE. D'autres étapes de négociation entre les différentes parties prenantes (commune, opérateur privé, association des usagers du BV), orchestrées par le GRET, auront lieu ultérieurement. .

La démarche d'élaboration des différents scénarii est expliquée à l'assemblée. Cette définition de scénarii est réalisée à partir des différents entretiens réalisés lors de la mission de juillet auprès des paysans dans le bassin, sur les marchés de Madiorano et de Tolongoïna, auprès des ONG et associations à Tolongoïna et à Fianarantsoa. Les projets mis en place dans la région, leurs résultats et leur mise en œuvre ont été étudiés et comparé au contexte du bassin pour voir si ces projets sont compatibles avec la situation du bassin d'Andasy et des stratégies des paysans. Afin de garder les paysans concentré et intéressé par la réunion, un déjeuner est organisé entre les étapes 2 et 3 par les organisateurs. Cela permet aussi de créer une bonne ambiance, une cohésion de groupe et garantit la confiance des paysans envers les organisateurs.

Etape 1 :

Matériel :

Fond de carte agrandi de l'occupation du sol du BV avec légende.



Activités :

Cette carte présente l'occupation des sols du BV. Les crêtes, cours d'eau et chemins sont représentés, ainsi que les lieux dits. La présentation de cette carte (explication des codes couleurs) aux paysans leur permet de se situer et de se familiariser avec le support cartographique qui est utilisé tout du long de l'atelier et de présenter les résultats du travail de Mickael Randriafanomezana (stage de maîtrise de géographie, 2009-2010).

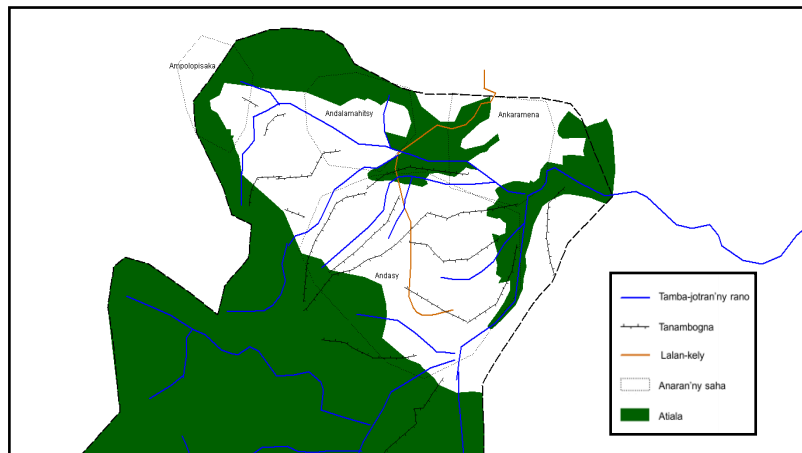
Cette première étape permet également de revenir sur le mécanisme PSE en présentant de façon spatialisée les différents enjeux : existence d'activités agricoles dans le bassin versant alimentant la microcentrale située en contrebas, au pied de la falaise. Les paysans peuvent se représenter facilement les différents territoires concernés grâce au support cartographique. Cela permet de rappeler le principe général du PSE et l'implication qu'ils ont dans la protection du bassin.

La problématique d'identification des « liens entre occupation du sol et SH » est également présentée. Les résultats hydrologiques montrent que dans le bassin les questions de ruissellement, crues et érosion sont principalement liées aux types de sols et à la topographie plus qu'à l'occupation du sol. Mais cette information devra être utilisée avec précaution et présentée de la façon suivante : les résultats montrent principalement qu'il est important de ne pas aggraver la situation (exemple du risque de roranga si la dégradation se poursuit) et donc, au minimum, l'objectif est de maintenir les activités telles qu'elles sont.

Etape 2 :

Matériel :

Fond de carte : agrandissement de la zone agricole du bassin-versant avec représentation de la Forêt, chemins, crêtes, cours d'eau.



Des post-it de différentes couleurs seront ajoutés pour représenter les types d'EA (une couleur par type d'EA, et une couleur pour les aménagements proposés). Les différents types de cultures sont écrits sur les post-it.

Activités :

Dans un premier temps, la restitution de la typologie est présentée aux paysans. Ce que signifie la typologie et comment les groupes ont été défini doit être expliqué de façon simple et claire. Les paysans ne sont pas nommés par types, mais se reconnaîtront très certainement. Le fond de carte utilisé pour cette partie comporte des post-it représentant chaque type d'EA identifié. Ils seront positionnés au fur et à mesure des présentations des différents types.

- Pour des raisons pédagogiques et d'animation de la réunion, une présentation simple et caricaturale de tous les types d'EA est faite aux paysans. Seules les grandes caractéristiques de chaque type sont présentées et les post-it des exploitations types sont positionnées sur le fond de carte au fur et à mesure. Ces caractéristiques sont résumées sur un poster en guise d'aide-mémoire pour le reste de l'atelier. Cette présentation est succincte et très courte afin de ne pas se répéter lorsque les présentations type par type vont commencer.

Il est alors demandé à chaque type de désigner deux paysans qui seront les interlocuteurs de l'animateur. Les autres membres du type se regroupent derrière leurs représentants. Cela permet

- aux paysans désignés par leur groupe peuvent de consulter l'avis des autres en cas de difficultés de prise de décision ;
 - aux autres paysans de la même typologie de suivre le déroulement de la discussion, d'une part, et d'être au courant des résultats de l'atelier d'autre part (la transmission des résultats de paysan à paysan risque de fausser l'information).
- Les alternatives sont discutées type par type afin de cerner les problèmes rencontrés par les exploitations face aux SH et les évolutions possibles sont discutées. Ces évolutions et alternatives sont ajoutées au fur et à mesure sur le fond de carte et

représentées par des post-it de couleur différente que celle de l'EA. Les post-it des évolutions possibles ne sont pas nécessairement placés sur le territoire de l'EA concerné mais peuvent être sur des facettes paysagères particulières selon les discussions avec les paysans. Le placement des post-it doit au maximum tenir compte des dires des paysans. Pour chaque type présenté, les paysans concernés doivent s'exprimer.

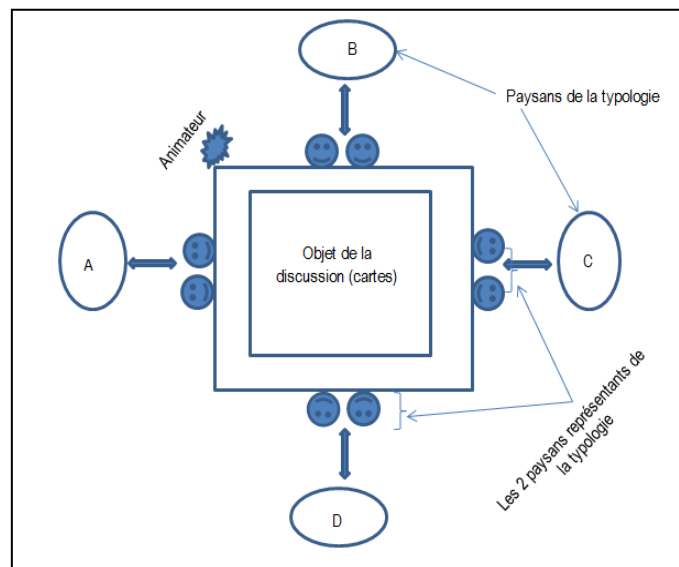


Figure : Organisation des paysans pendant l'atelier.

Etape 3

Matériel :

Revenir au fond de carte « OS-Mickael. »

Activités :

A la fin de l'étape 2, un fond de carte plein de post-it est obtenu. Afin de synthétiser les options d'aménagements qui ont été retenues, une discussion avec tous les paysans présents est entamée sur le premier fond de carte de l'occupation des sols. Cette discussion permet de réfléchir d'une manière globale sur le territoire du BV. Cette synthèse des options d'aménagements est faite par facettes paysagères au sein du BV.

Ainsi, la discussion reprend chaque facette paysagère (sommets, pente, bas de pente, replats et bas-fonds) afin que les enjeux par rapport aux SH soit formulé et pris en compte dans les options d'aménagements.

Par exemple :

Bas de pente = bande des 50m, plantations arborées.

Pentes = cultures et aménagements anti-érosifs

Replat = pas d'enjeux pour les SH mais zones propices au développement des cultures maraichères.

Cette étape permet donc de replacer sur le fonds de carte OS-Mickael toutes les cultures, évoquées lors de la discussion type par type de l'étape 2, à l'échelle du paysage en faisant le lien avec le maintien des SH.

Etape 4

Matériel :

Les deux fonds de carte travaillés lors des étapes 2 et 3.

Activités :

Cette dernière étape est une étape de conclusion générale.

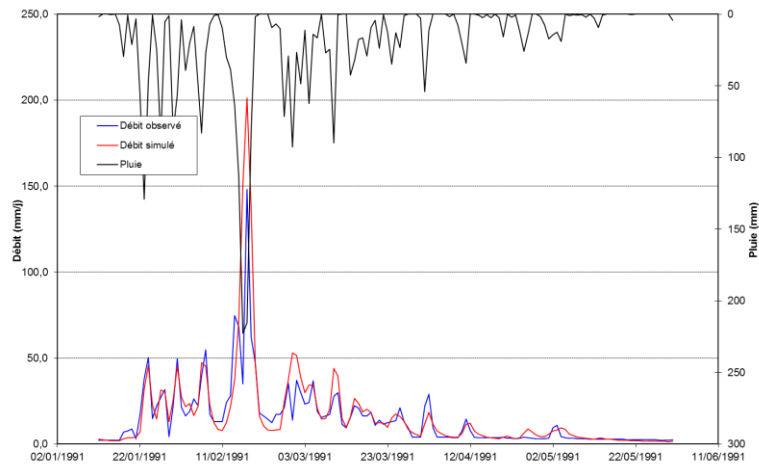
Les deux fonds de cartes obtenus montrent les nouvelles cultures qui peuvent être mises en place selon le type d'EA et en lien avec une logique de maintien des SH. L'une à l'échelle EA, l'autre à l'échelle du BV.

La commune et les autorités locales sont invitées à cette étape pour assister à la conclusion de l'atelier et à une restitution partielle des résultats qui viennent d'être évoqués.

ANNEXE XIII : Résultats de l'optimisation du modèle GR4j.

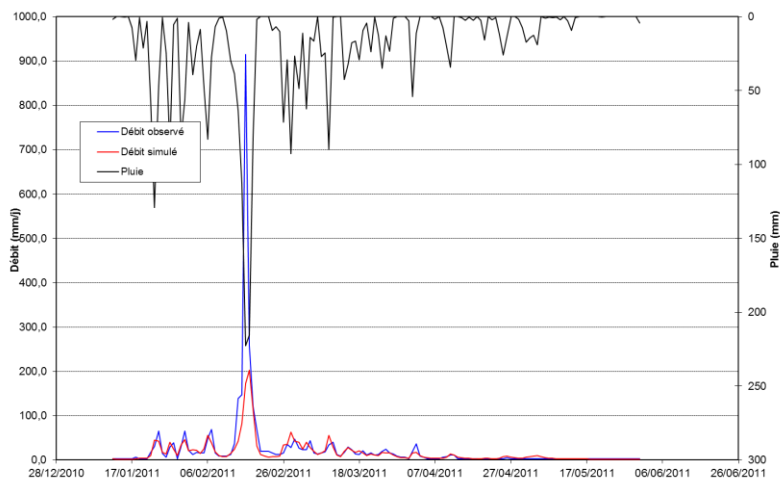
Année 2011, ayant servi à la fixation des valeurs des paramètres.

Bassin forestier



Critères d'efficacité (%)			
Nash(Q)			39,4
Nash(VQ)			74,0
Nash(ln(Q))			83,4
Bilan			114,5

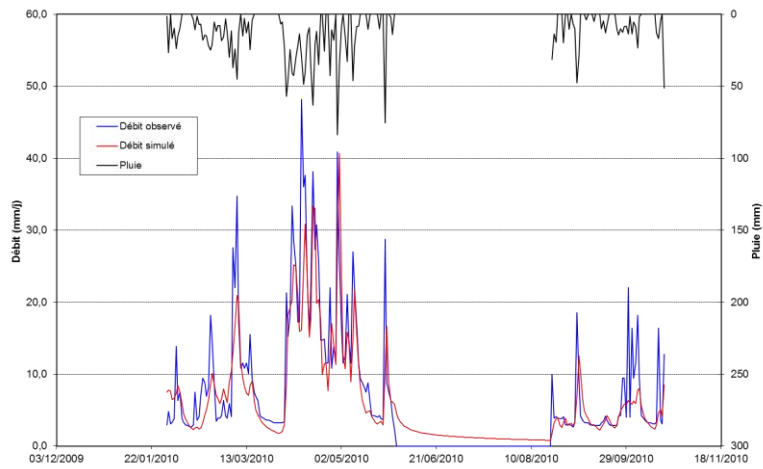
Bassin agri-forestier



Critères d'efficacité (%)			
Nash(Q)			37,9
Nash(VQ)			72,0
Nash(ln(Q))			84,0
Bilan			71,0

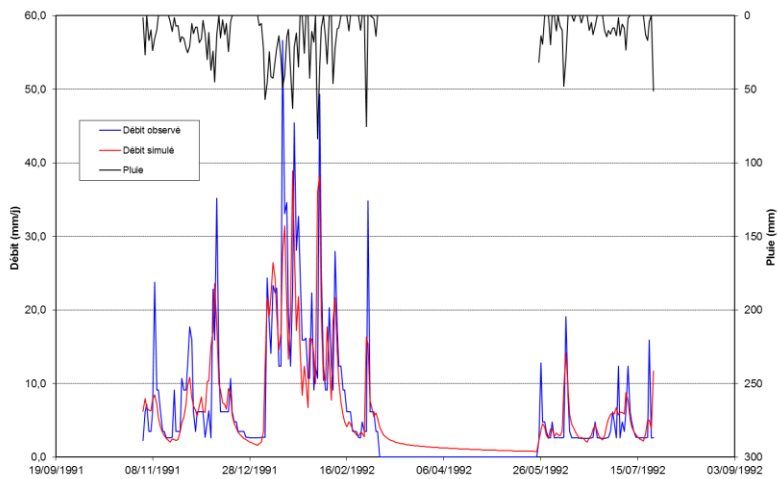
Année 2010, ayant permis de vérifier la validité des paramètres.

Bassin forestier



Critères d'efficacité (%)			
Nash(Q)			63,5
Nash(VQ)			69,9
Nash(ln(Q))			68,8
Bilan			88,8

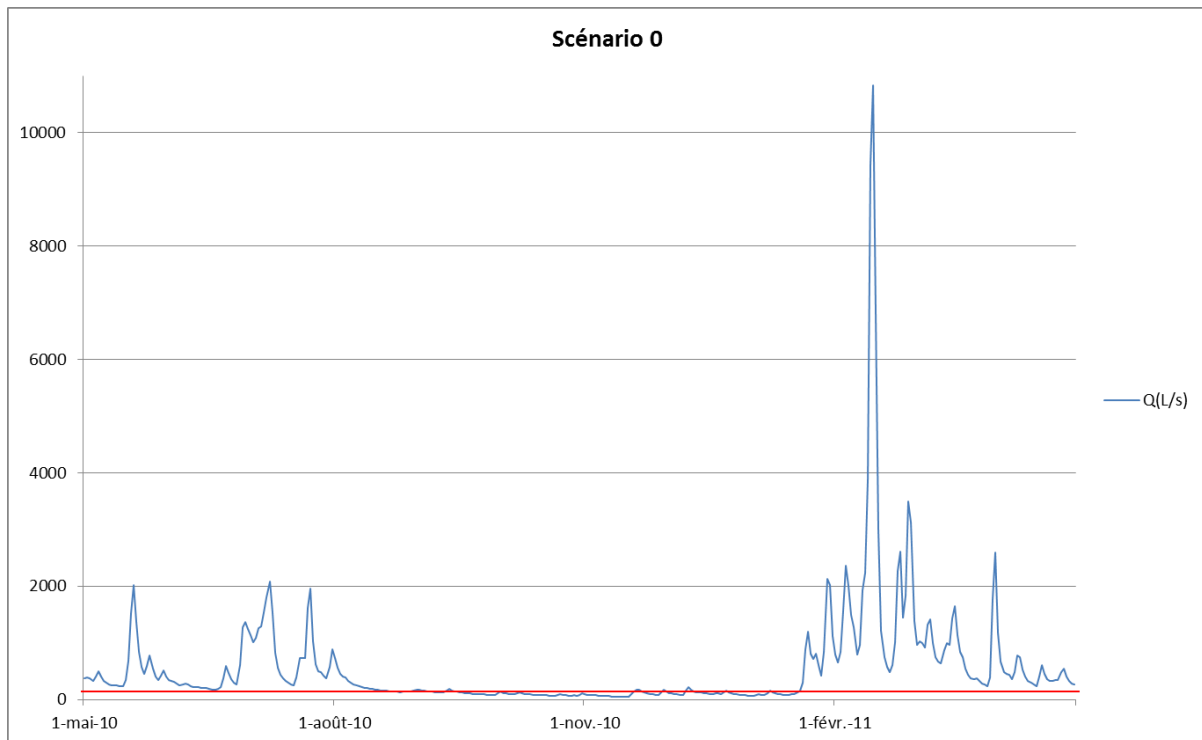
Bassin agri-forestier



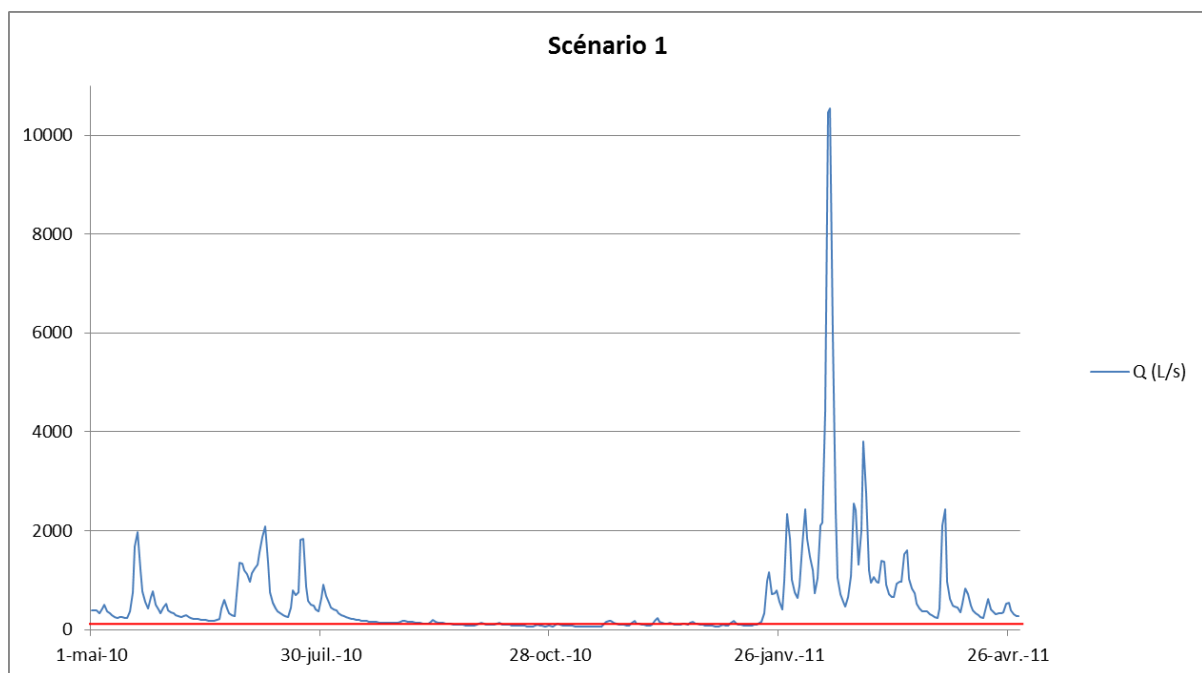
Critères d'efficacité (%)			
Nash(Q)			57,0
Nash(VQ)			62,9
Nash(ln(Q))			63,7
Bilan			94,4

ANNEXE XIV : Courbes de simulation des débits à l'exutoire du bassin d'Andasy en fonction de différents scénarii.

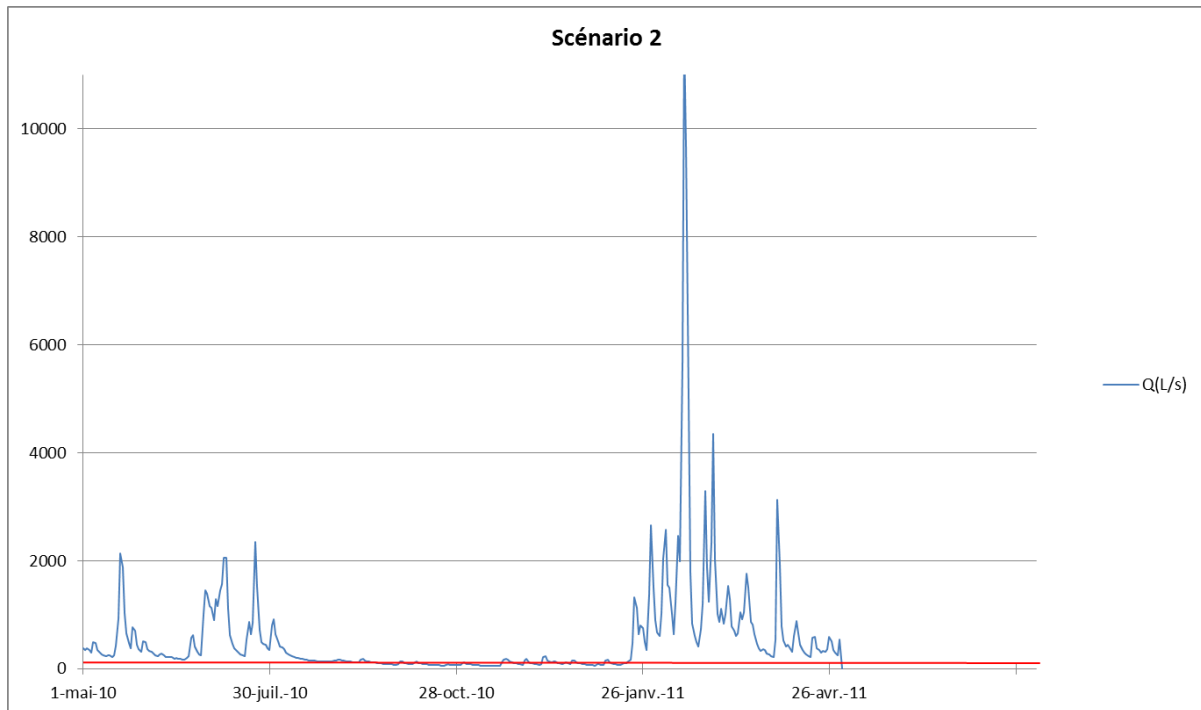
La ligne rouge représente graphiquement le débit de 107 L/s nécessaire à la centrale.



Le scénario 0 représente le bassin actuel.

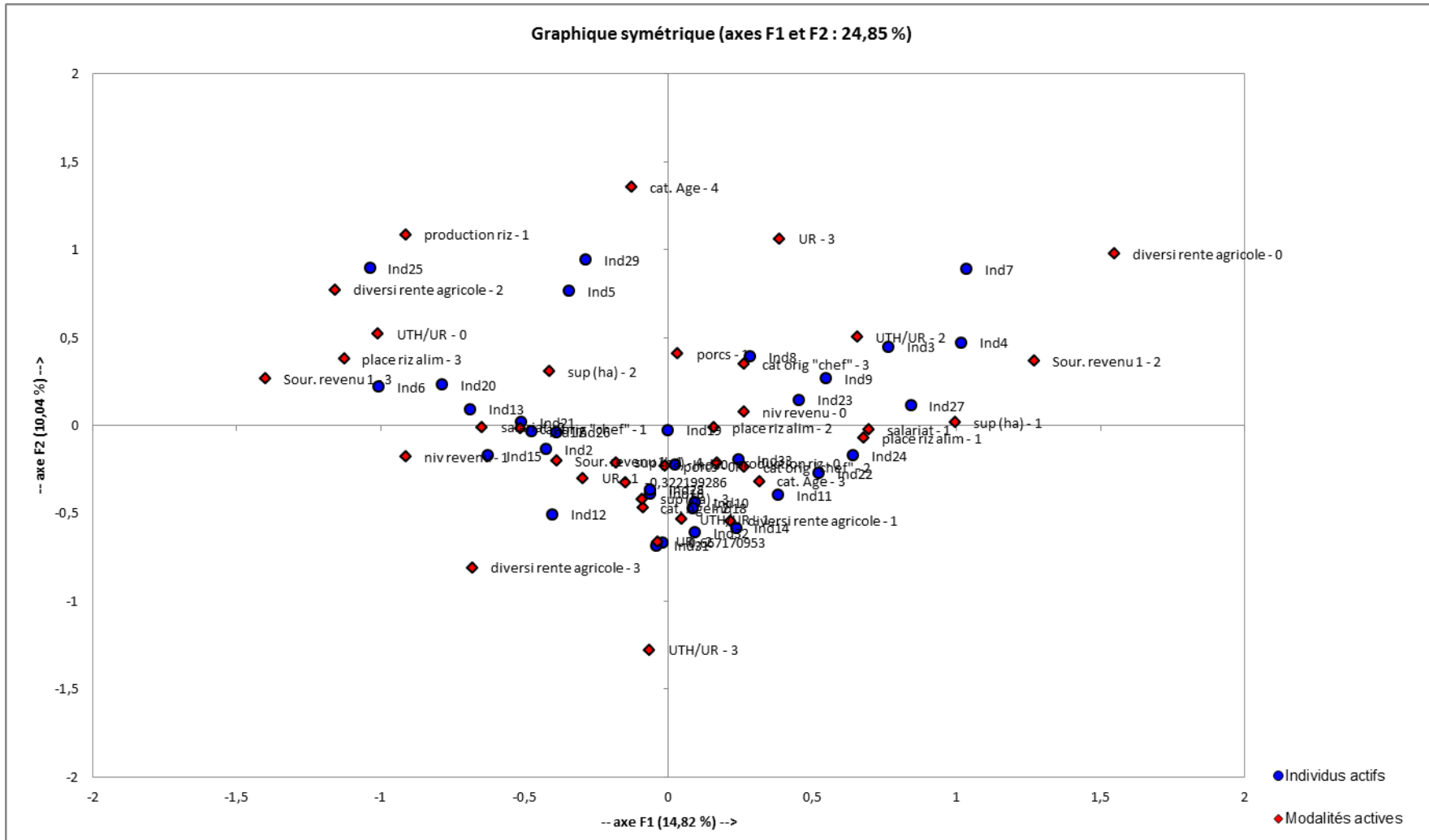


Le scénario 1 représente le bassin reboisé sur l'intégralité de la superficie.

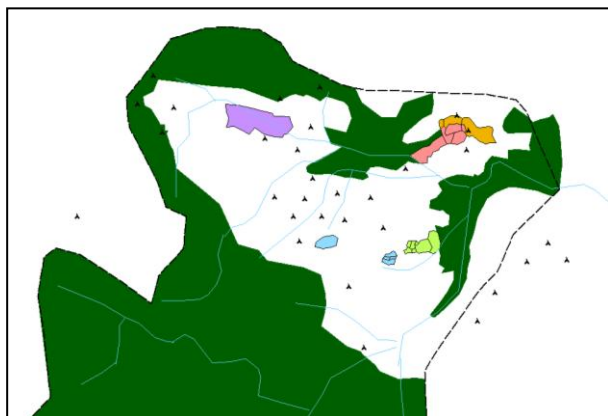


Le scénario 2 représente le bassin agri-forestier dans son intégralité.

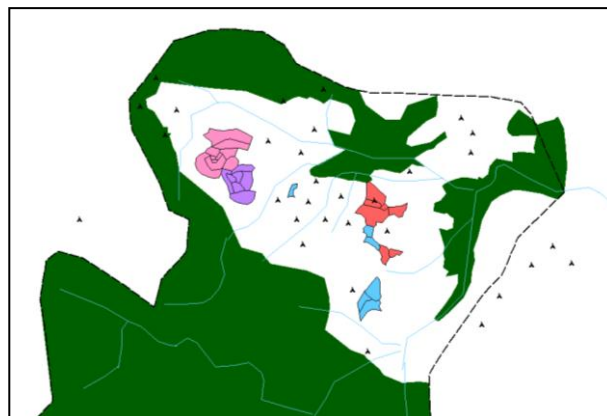
ANNEXE XV : Analyse des correspondances multiples.



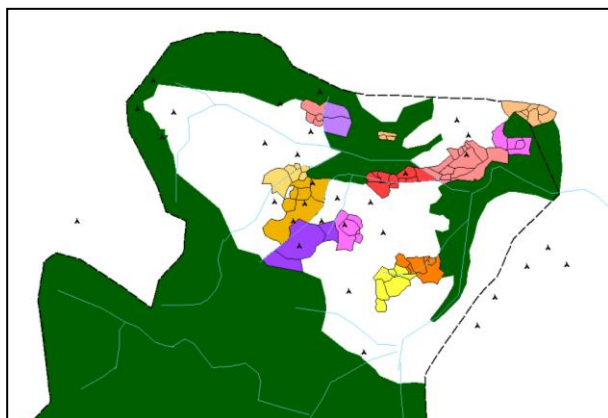
ANNEXE XVI : Représentation spatiale des différents types d'exploitations.



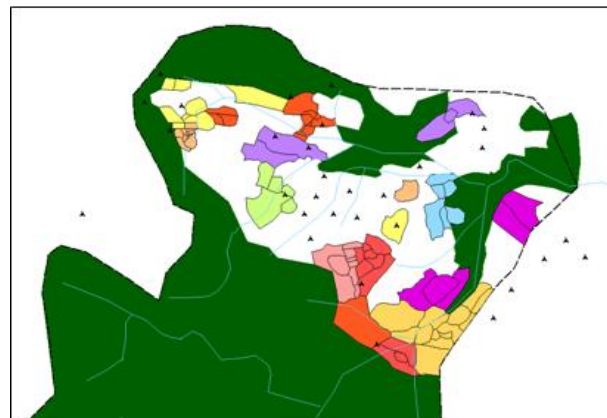
a. Exploitations agricoles de type A



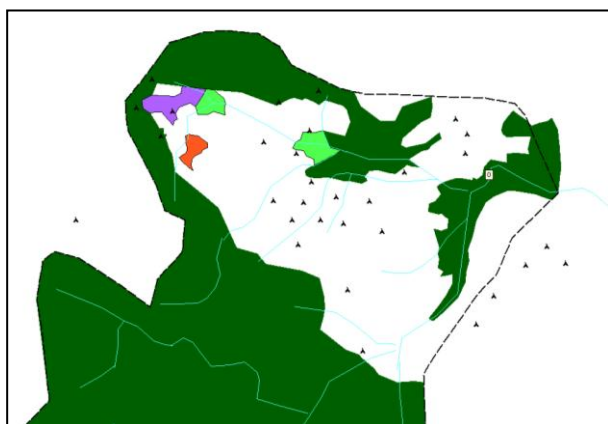
b. Exploitations agricoles de type B



c. Exploitations agricoles de type C



d. Exploitations agricoles de type D



e. Exploitations agricoles de type E

ANNEXE XVII : Poster utilisés lors de la réunion de restitution.

IREO FAHALALAN' NY TANTSAHA MOMBA NY RANO
SAVOIRS LOCAUX SUR L'EAU

- Les paysans d'Andasy nous ont appris ce qu'ils savent.
 - Regardons les convergences entre nos savoirs et ceux des autres diversifiés.

	MALAGASY	VAZAHA
VENOAN-TANY RELIEF	FORINGA, HAREMBA, HARANA TANAMBOA, TANZAN-TANT FARIMY, VAVASARA	DECRÉ PENTE (C) CRÊTE, FLANC, VERSANT BAS-FOND, VALLÉE ÉTOUÉE
TANY SOLES	MAINTY, MARIMENA	SOLS HORIZONLS FERTILES
EAU RANO EAU	HERIKA, HERIKABE, SIKLAONA RANO YAKA, RAZO MINTA YAVA SAHA, SAHA TANY TOHA	(au min) PLUIE, PLUIG, CYCLONE INTENSE RIVIÈRE, RUISSEMENT, TOURENT ERUE, RUISSEMENT EXUTORE, BASSIN-VERSANT GLISSEMENT DE TERRAIN ÉROSION DIFFUSE, EN RIENS, EN RAVINE

CONCLUSIONS

- En général, nous nous comprenons bien
- Les chaudières ont besoin de prévoir (type d'érosion, de rivière...)
- Ce qui compte pour le bannage: éliminer les RIAKA
- limiter la terre dans l'eau

Débat:

- J'AMNY VAKY
- SAGOAKA (Sourire)
- (Kianala)

1) Les savoirs locaux sur l'eau. ruissellement et l'érosion à l'échelle du bassin.

Expériences des paysans sur le 21

Ruissellement et l'érosion
 "FAHALALAN' NY TANTSAHA MOMBA NY RANO VOHITRA SY NY FAHASIMBANA AMIN' NY TANY" DANS LE BASSIN D'ANDASY

- Agricole (2)

les crues arrivent après les pluies
 l'eau monte de 1 à 2 m.
 il n'y a pas de dégâts
 l'eau est colorée, il y a de la terre

- Forestier (1)

les crues arrivent après les pluies
 l'eau monte de 1 à 2 m.
 les chemins sont bloqués par l'eau qui monte
 l'eau est colorée, il y a de la terre

⇒ Il n'y a pas de différence pour la terre dans l'eau entre les deux bassins

l'eau monte de la même hauteur mais la taille des bassins est différente! la production d'eau n'est pas la même.
 la forêt ne garantit pas l'arrêt des crues ni une eau propre.
 Selon vos renseignements, il n'y a pas de différences pour la terre dans l'eau. Y-a-t-il d'autres différences entre les deux bassins?

2) Expériences des paysans sur le ruissellement et l'érosion à l'échelle du bassin.

Expériences des paysans sur le 3

Ruissellement et l'érosion
 "FAHALALAN' NY TANTSAHA MOMBA NY RANO- VOHITRA SY NY FAHASIMBANA AMIN' NY TANY"

LES CULTURES QUI RUISSENT LE PLUS

	RUISSEMENT?	ÉROSION?
BANANES PEU DENSES	16 OUI 1 NON	7 AVEC TERRE 9 SANS TERRE
MANIOC	13 OUI 4 NON	10 AVEC TERRE 3 SANS TERRE
GINGEMBRE	5 OUI 1 NON	5 AVEC TERRE

LES CULTURES QUI RUISSENT MOINS

	RUISSEMENT?	ÉROSION?
BANANES DENSES	11 OUI 6 NON	7 AVEC TERRE 4 SANS TERRE
RIZ PLUVIAL	10 OUI 7 NON	3 AVEC TERRE 7 SANS TERRE

- Le manioc et le gingembre entraînent du ruissellement. Comment peut-on faire pour le diminuer?

- La banane dense réduit le ruissellement mais il y a quand même de l'érosion. Comment diminuer l'érosion? Quelles cultures associer?

3) Expériences des paysans sur le ruissellement et l'érosion au niveau des cultures.

VOKATRY NY FANARAHAMASO NY RANO

4. RÉSULTATS DES MESURES HYDROLOGIQUES

METHODE FORMBA

- On compare 2 bassins différents
 - On mesure la pluie
 - On mesure l'eau (hauteur, quantité) vitesse, temps de parcours

→ cf. Coléstin

RÉSULTATS 2010 : Niveau 1 fois par jour

- Il y a de grande crue sur les 2 bassins
- 4 crues sur bassin culture contre 2 sur bassin forêt
- petits écoulements alternés

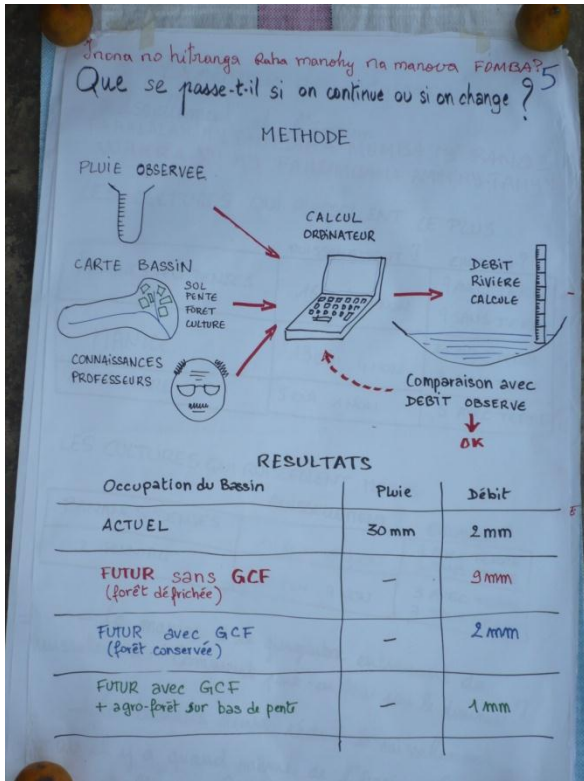
RÉSULTATS 2011

- Subs 1 crue en janvier, grosse pluie 130mm
- Ruissellement important sur bassin agricole
- Arrêt de terre dans l'eau en janvier dans les 2 bassins

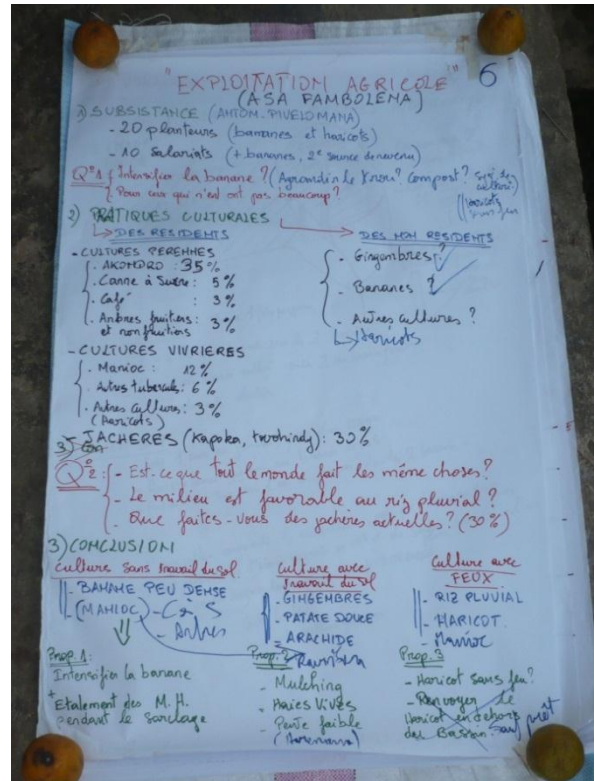
CONCLUSIONS

- L'agriculture augmente le ruissellement, mais pas l'érosion en 2010
- Il est probable que l'érosion augmente en début de Saison dans le bassin agricole
- Il faut se voir en augmentant si ça devient ROUANCA
- Éviter le feu
- augmenter culture pérenne

4.1) Résultats des mesures et du modèle hydrologiques.



4.2) Résultats des mesures et du modèle hydrologique.



5) Les exploitations agricoles du bassin.

Résumé

Depuis 2008, le Gret développe le projet rHYvière d'électrification des zones rurales à Madagascar. La commune de Tolongoïna dans le sud-est du pays fait partie des sites pilotes. Une étude de faisabilité a souligné la possibilité de développer un outil de Paiement pour Services Environnementaux (PSE) pour la protection du bassin versant d'Andasy, situé en amont. Ce PSE semble répondre aux enjeux environnementaux et de développement souhaité par le Gret. Les habitants de Tolongoïna auront accès à l'électricité et seraient les bénéficiaires du PSE ; les paysans du bassin versant en respectant de « bonnes pratiques » seraient les fournisseurs de la garantie d'une quantité et d'une qualité d'eau nécessaire au bon fonctionnement de la centrale. L'IRD, par son programme de recherche SERENA, vient en appui au Gret afin de mettre en place une méthode de définition du service concerné et de mise en œuvre du PSE. Cette méthode passe par la prise en compte des connaissances locales autant que des connaissances scientifiques afin de développer des solutions d'aménagements pertinentes avec le milieu considéré.

Mots clés : Paiement pour Services Environnementaux, savoirs locaux, connaissances scientifiques, hydrologie, corridor forestier, Madagascar.

Summary

Since 2008, Gret has been developing the project rHYvière for the electrification of countrysides in Madagascar. Tolongoïna in the south-east part of the country belongs to experimental site. A feasibility study emphasized the possibility to develop a way of Payment for Environmental Services (PES) to protect the drainage basin of Andasy, located up river. This PES look like it was answering at the environmental, and development issues wished by the Gret. The people of Tolongoïna will have access to electricity and will be the beneficiaries of PES; farmers respecting agricultural practices, which guarantee a good quality and quantity of water for the smooth functioning of the central. IRD, by his research program SERENA, is backing the Gret in order to build a definition method of the service concerned and of the implementing of PES. This method has to consider as local as scientific knowledge, so as to develop relevant solutions of improvement in the environment under consideration.

Key words: Payment for Environmental Services, Traditional knowledge, scientific knowledge, hydrology, forest corridor, Madagascar.

Resumen

Desde 2008, el Gret ha desarrollado el proyecto rHYvière para la electrificación de los pueblos de Madagascar. Tolongoïna en la parte sur-este del país hace parte del sitio experimental. Un estudio de factibilidad ha muestro la posibilidad de desarrollar un medio de Pagos por Servicios Ambiental (PSA) para proteger la cuenca de drenaje de Andasy, situado arriba del río. Estos medios de pago parecen responder al lado medioambiental, y al desarrollo querido por el Gret. La población de Tolongoïna habrá acceso al energía y aprovechara los beneficios del PSA; granjeros respetando las prácticas de agricultura, quien asegura una buena cualidad y cantidad de agua para que funcione bien la central. El IRD, por su programa de búsqueda SERENA, apoya el Gret para construir un método de definición del servicio, y de implantación del PSA. Este método incluye tomar en cuenta los conocimientos locales tanto como los conocimientos científicos para desarrollar soluciones de habilitación pertinentes con el medio considerado.

Palabras claves: pagos por servicios ambientales, conocimientos locales, conocimientos científicos, hidropiano, pasillo silvestre, Madagascar.