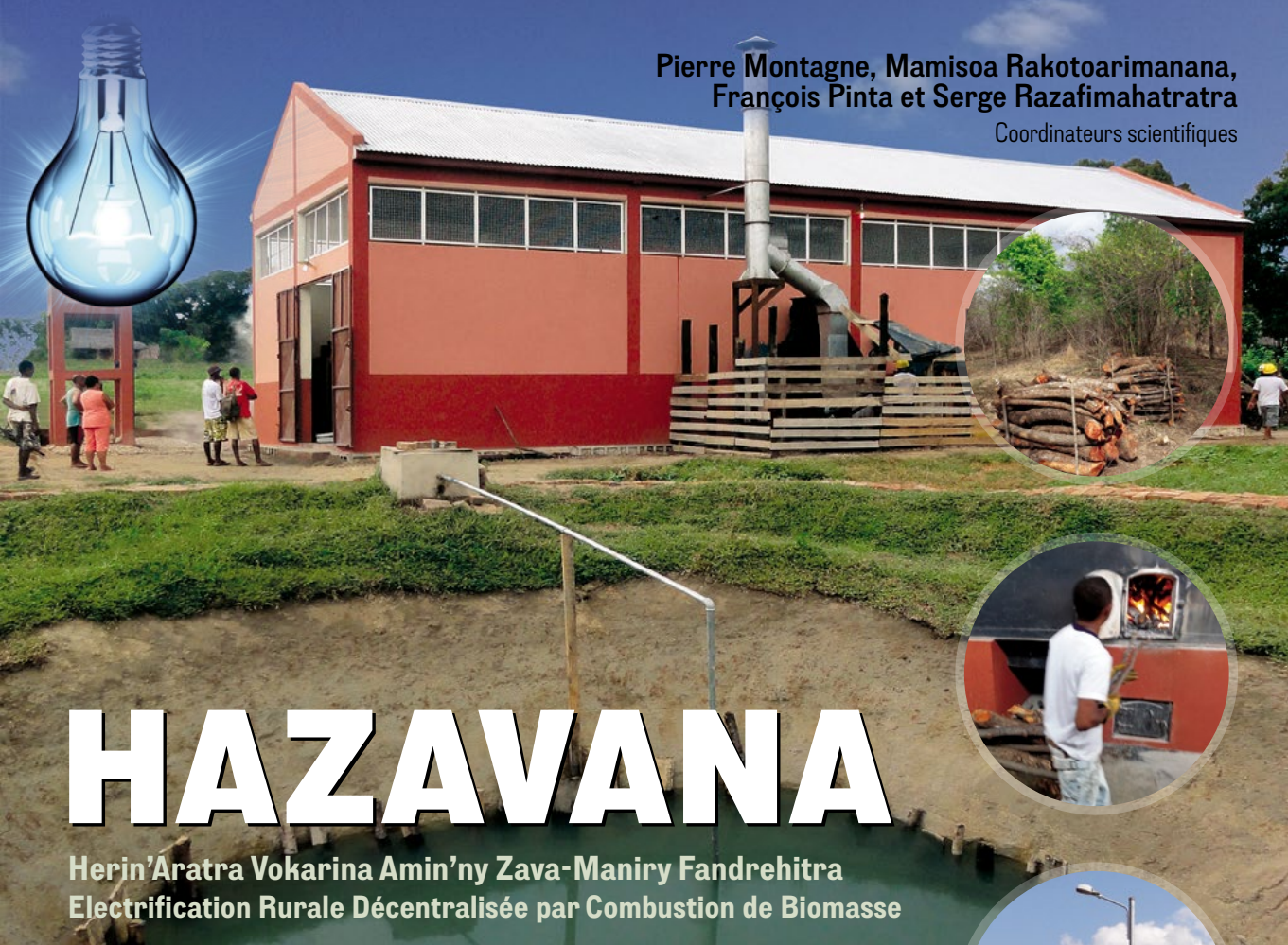


Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana,
François Pinta et Serge Razafimahatratra

Coordinateurs scientifiques



HAZAVANA

Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra
Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse



HAZAVANA

Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra

Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse

Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015

BIOENERGELEC

**Biomasse énergie pour la réduction de la pauvreté
par l'électrification rurale décentralisée à Madagascar**

Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra
Coordinateurs scientifiques

© Homme et Environnement
ISBN : 978-2-9555221-0-3

L'Homme et l'Environnement
Lot II M 90 Antsakaviro,
Tél. +261 22 674 90
e-mail : direction@mate.mg
<http://www.madagascar-environnement.com>

www.bioenergelec.org

Le contenu de cette publication n'engage que la responsabilité de ses auteurs et ne représente pas nécessairement l'opinion de l'Union Européenne. L'Union Européenne n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent.

**Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta
et Serge Razafimahatratra**
Coordinateurs scientifiques

HAZAVANA

Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra
Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse
Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015



Ouvrage de synthèse édité à partir des résultats des travaux de recherche-action réalisés de 2009 à 2015 dans quatre régions et cinq communes de Madagascar.

Avec la participation du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), de l'Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER), de l'Association Participation à la Gestion de l'Environnement (PARTAGE), du Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural (FOFIFA) et des partenaires associés des Administrations malgaches chargées des forêts (DGF) et de l'énergie (DEN)

Cette initiative rentre dans le cadre du contrat Union Européenne - CIRAD 9 ACP RPR 49#31 du 20 décembre 2007. Elle est issue de la réponse faite le 19 septembre 2006 par le CIRAD et ses partenaires ADER, FOFIFA et PARTAGE à l'appel à proposition EuropeAid / 123607 / C / ACT / ACP de la Commission Européenne, Facilité pour l'eau et l'énergie pour les pays d'Afrique subsaharienne, Caraïbes et Pacifique du 9^{ème} Fonds Européen de Développement.

L'édition a été assurée par l'ONG Homme & Environnement et financée dans le cadre du projet BIOENERGELEC.

Avant-propos

Cet ouvrage est dédié à tous les acteurs intéressés par l'électrification rurale décentralisée (ERD) à partir de biomasse dans les communes rurales de Madagascar : il s'adresse aussi bien aux acteurs bûcherons mobilisés pour l'approvisionnement en biomasse, aux acteurs privés de l'électrification rurale qu'aux responsables des communes rurales qui sont encore aujourd'hui en demande d'un système d'électrification rurale fiable et durable. L'ouvrage est donc dédié aux paysans-charbonniers de la région Anôsy, paysans-bûcherons des régions Boeny, Alaotra-Mangoro et Haute Matsiatra, mobilisés pour l'approvisionnement en biomasse ligneuse des centrales thermoélectriques de Manerinerina, Andaingo et Didy. Comme nous le verrons ultérieurement, les communes de Befeta, Mahaditra et Ifarantsa n'ont pas pu bénéficier des équipements ERD au cours du Projet.

En tout état de cause, il est un élément de réponse à la volonté de l'Union Européenne, au travers de la Facilité Energie, de favoriser l'électrification des communes rurales de Madagascar par la mobilisation de la biomasse (bois ou déchets de productions agricoles) qui y est disponible dans le respect des critères socio-économiques et écologiques qui s'imposent dans ce pays.

Contexte des régions cibles

BIOENERGELEC a focalisé ses actions sur quatre régions cibles caractérisées à la fois par une disponibilité en biomasse ligneuse ou non ligneuse, une disponibilité en eau et une volonté des populations, notamment des conseils municipaux, de disposer d'électricité. Ces régions cibles (*cf.* Feuillet central, page A : cartes de localisation des sites d'intervention) sont :

- la région Alaotra-Mangoro,
- la région Anôsy,
- la région Haute Matsiatra,
- la région Boeny.

RÉGION ALAOTRA-MANGORO

La région Alaotra-Mangoro s'étend sur une surface de 27 394 km², à l'est d'Antananarivo. Le district de Moramanga est une des principales zones de plantations d'Eucalyptus et approvisionne depuis plusieurs décennies la ville d'Antananarivo en charbon de bois. Sa population est d'environ 1 000 000 d'habitants soit une densité de population de 36 habitants/km². Le riz est la principale production agricole sur une surface d'environ 150 000 hectares. La région bénéficie d'un climat humide et d'une végétation appartenant à l'écosystème des forêts sempervirentes. La biodiversité y est exceptionnelle mais menacée par les *tavy* (abattis brûlés de couverts forestiers pour des cultures vivrières) et par la pression liée à la demande en produits forestiers ligneux (bois d'œuvre, charbon de bois à usage d'énergie domestique) ou non ligneux (plantes aromatiques, médicinales, etc.). Elle dispose d'une importante surface de formations forestières plantées en Eucalyptus (environ 35 000 ha) ou en pin (environ 50 000 ha) qui lui permet d'être largement autosuffisante. C'est une région qui est exportatrice de produits forestiers vers Antananarivo en particulier pour le charbon de bois, le bois d'œuvre de pins. Le CIRAD et ses partenaires

sont intervenus par l'intermédiaire du projet BIOENERGELEC dans la commune rurale de Didy, district d'Ambatondrazaka et par l'intermédiaire du projet GESFORCOM dans la commune rurale d'Andaingo, district de Moramanga.

Ambohijanahary, chef-lieu de la commune de Didy se trouve à 54 km au sud-est du district d'Ambatondrazaka. On y accède par la Route d'Intérêt Provincial (RIP) partant d'Ankazotsaravolo malheureusement très dégradée. La population de la commune rurale atteint 23 641 habitants dont 5 308 pour le chef-lieu. Les ethnies les plus représentées sont les Sihanaka suivi des Betsileo et Merina. Les activités principales de la population sont l'agriculture, 4 000 des 9 000 ha de la plaine sont cultivés, et l'élevage. Les principales spéculations, dans ces bassins à sol très riche, sont le riz, le haricot et la pomme de terre. Depuis l'ouverture de la piste qui l'a désenclavée en 1994, Didy a connu un développement agricole et forestier rapide. La croissance de la population accompagne l'extension de la riziculture et la mise en valeur agricole de la plaine et du marais de Didy. La forêt classée d'Ambohilero occupe la partie Est de la commune sur une superficie de 117 600 hectares. Elle fait partie de l'aire protégée du Corridor Ankeniheny Zahamena (CAZ). De 2002 à 2013, la mise en place dans ce massif de contrats de transfert de gestion en application de la loi dite Gestion Locale Sécurisée (GELOSE) pour la valorisation durable de la biodiversité a conduit à l'exploitation du bois d'œuvre par les communautés de base et, depuis peu, à la valorisation durable des peuplements de *Ravensara aromatica* pour la production d'huile essentielle. (voir l'ouvrage KIJANA, 2014).

RÉGION BOENY

La région Boeny, à l'Ouest de Madagascar, présente une double caractéristique : d'une part, Mahajanga avec plus de 100 000 habitants en est la ville principale avec une forte incidence en termes de demande en énergie domestique, évaluée à près de 20 000 tonnes de charbon de bois par an et d'autre part, des populations rurales qui sont en situation difficile handicapées dans leur développement par l'absence d'énergie électrique. Elle couvre une superficie de 29 826 km². Cette zone, largement sous l'influence maritime, est caractérisée par un climat type tropical sec. La population a été évaluée en 2001 à près de 770 000 personnes. La densité moyenne est de 25 habitants/km². La grande diversité des caractères agropédologiques de la région favorise la production d'une gamme diversifiée de cultures. On trouve aussi bien des cultures vivrières qu'industrielles ou de rente sur d'immenses plaines alluviales, des couloirs de *baiboho* (terre fertile de décrue) et des bas-fonds inondables, couvrant une surface agricole utile de 980 000 hectares. La couverture forestière naturelle dans la région Boeny a été évaluée en 2005 à 403 952 ha. Les forêts sont plus ou moins uniformément réparties dans les 6 districts. On trouve dans cette région d'importantes surfaces de formations forestières à *Ziziphus mauritiana*, pour lesquelles il a été montré qu'il est possible de les placer sous gestion forestière durable pour la production de charbon de bois pour l'approvisionnement énergétique de la ville de Mahajanga.

La commune rurale de Manerinerina dans la région de Boeny, district Ambato-Boeny, se trouve à 26 km au nord-est d'Ambondromamy sur l'axe RN6. Elle compte 37 800 habitants dont 6 900 au chef-lieu de la commune. Les activités agricoles sont caractérisées par les cultures de décrue. La vie des paysans est liée à l'élevage bovin de type extensif. C'est une commune dynamique avec un potentiel agricole diversifié sur des sols favorables : riz, maïs, manioc, haricots, tabac, arachide, fruits (bananes, mangues, anacardes, etc.) un potentiel forestier considérable avec des superficies de savanes à *Ziziphus mauritiana*.

RÉGION HAUTE MATSIATRA

La région Haute Matsiatra couvre une superficie de 20 883 km² avec deux sous-régions distinctes. La partie orientale d'une part, à topographie irrégulière, correspondant à la surface de transition entre la falaise Tanala et les Hautes Terres centrales. Les *tanety* sont une réserve importante de surface pour la riziculture. Les Hautes Terres du centre d'autre part correspondent à la partie méridionale du pays Betsileo. Cette région, à relief tourmenté, offre des paysages de rizières en gradins typiques. Le climat est de type humide. La population a été évaluée à 1,1 million d'habitants en 2001. Elle est répartie selon une densité moyenne de 52 habitants/km² mais avec des zones peu peuplées comme le district d'Ikalamavony (11 habitants/km²). La région dispose d'importantes surfaces de plantations forestières, mais la demande

est relativement faible. C'est une région extrêmement pauvre. Les principaux produits agricoles sont le riz, le manioc, le haricot et la patate douce. Le maïs, le manioc, le riz, la banane, la patate douce sont le plus souvent autoconsommés. Le haricot, la pomme de terre, la canne à sucre et les ananas sont à la fois autoconsommés et vendus dans les villes. La couverture de forêts naturelles de la région a été évaluée à 60 000 ha en 2005. Environ 86 % de la ressource forestière se trouve dans les districts d'Ambalavao, de Lalangina et de Vohibato. Par ailleurs, il existe de nombreuses propriétés privées plantées d'Eucalyptus.

La commune rurale de Mahaditra se trouve dans la région Haute Matsiatra, district de Vohibato, 56 km au sud de Fianarantsoa, entourée par les communes : Alakamisy Itenina (nord), Anjoma (sud), Andranovorivato (ouest) et Ankarimalaza (est). Elle est composée de 12 fokontany sur une superficie de 390 km². C'est une commune éloignée, mais la piste est accessible toute l'année : 20 km goudronnés, 2 km carrossables en bon état et 16 km carrossables en mauvais état. La population de la commune rurale atteint 29 117 habitants dont 3 328 pour le chef-lieu. La superficie de savanes arborées est de 27 000 ha. La disponibilité potentielle de balle de riz est de 1000 tonnes par an. On trouve des déchets d'exploitation de bois d'œuvre issus des 5 400 hectares de plantations disponibles dans un rayon de moins de 20 km de la commune.

La commune rurale de Befeta, en région Haute Matsiatra, est une commune difficilement accessible car les deux pistes qui la desservent sont en mauvais état. Elle est située au bord de la Matsiatra à 38 km au nord de Fianarantsoa, dans le district d'Ambohimahaso. Elle comprend 9 fokontany sur une superficie de 138 km². Elle est peuplée de 18 000 habitants. Le chef-lieu en rassemble 1 350, répartis dans 234 ménages. C'est une commune très connue dans la région, renommée pour la viticulture dont la production annuelle est de 308 000 litres. Outre la riziculture et la vigne, le terroir de la commune recèle d'importantes surfaces de plantations d'Eucalyptus avec une activité de production de bois d'œuvre. Le territoire de la commune compte environ 7 600 ha de rizières avec un potentiel de 1000 tonnes de balle de riz par an. Des plantations d'Eucalyptus, 10 000 hectares, existent dans un périmètre de 10 km autour de la commune.

RÉGION ANÔSY

La région Anôsy au Sud-Est s'étend sur 29 635 km² et rassemble les districts de Taolagnaro (Fort-Dauphin), d'Amboasary Sud et de Betroka. Le bioclimat est du type humide et subhumide. La population est évaluée à 620 000 habitants en 2001 soit une densité moyenne de 21 habitants par km². Le district de Taolagnaro est le plus peuplé avec environ 51 habitants par km². La production agricole est dominée par le riz (44 %) et le manioc (41 %). Les autres cultures sont faiblement pratiquées, ne représentant que 15 % des surfaces cultivées. Sa principale ville Fort-Dauphin a un besoin annuel de 7 000 tonnes de charbon de bois mais dispose aussi d'un capital forestier non utilisé sous forme de plantations d'Eucalyptus privées et domaniales. Les ressources forestières naturelles de la région ont été évaluées à 482 809 ha en 2005. Environ 98 % des forêts naturelles de la région se trouvent dans les districts d'Amboasary Atsimo et de Taolagnaro.

Située à 22 km de Fort-Dauphin, la commune rurale d'Ifarantsa est facile d'accès par la route (RIP 118). Elle comprend 10 250 habitants (1 464 ménages) dont 1 904 pour le chef-lieu. Elle est composée de neuf fokontany, Ivorona étant le fokontany le plus éloigné à 15 km du centre de la commune. Couvrant une superficie totale de 234 km² et présentant la particularité de renfermer une grande partie de la station forestière de la Fanjahira, Ifarantsa est une petite commune à fortes potentialités forestières et agricoles avec une bonne pluviométrie, de vastes espaces cultivables, des cultures diversifiées (riz, manioc, canne à sucre, bananes, etc. des cultures fruitières sous valorisées (litchi). On y trouve également des plantations d'Eucalyptus importantes exploitées dans le cadre de contrats de transferts de gestion par des contrats GELOSE (essentiellement pour la production de charbon de bois vers Fort-Dauphin). La surface en Eucalyptus est de 3 845 hectares dont 1 200 ha dans la seule station forestière de Fanjahira dont le potentiel annuel était évalué à 12 m³/ha/an soit 8 tonnes/ha/an. Les plantations privées couvrent une surface de près de 2 500 ha. Toutes ces plantations sont situées dans un rayon de 30 km de la ville de Tolagnaro. Suite à un cyclone particulièrement dévastateur en 2010, une exploitation illicite a entraîné une forte dégradation du massif de Fanjahira entraînant en 2013 l'abandon des activités d'ERD du projet dans cette commune.

Historique des interventions pour le développement de l'électrification rurale décentralisée biomasse-vapeur à Madagascar

DE 2002 À 2006 : DU SOMMET MONDIAL SUR LE DÉVELOPPEMENT RURAL À L'INITIATIVE DE L'UNION EUROPÉENNE POUR L'ÉNERGIE ET À LA FACILITÉ ÉNERGIE

Les interventions pour le développement de l'ERD à Madagascar sont la conséquence de plusieurs facteurs convergents dont le constat fait par le Ministère en charge de l'Énergie, au milieu des années 2000, d'un besoin réel et fort d'électrification rurale associé à la volonté de l'Union européenne de développer l'ERD dans les pays du Sud. Pour cette dernière, le facteur déclenchant fut le Sommet mondial sur le développement durable (SMDD) qui s'était tenu à Johannesburg en 2002 et qui avait reconnu d'une part, le rôle important de l'énergie pour atteindre les objectifs de développement du millénaire (ODM), et d'autre part que l'accès à des sources d'énergie fiables, durables et à un prix abordable était essentiel au développement durable. Aucun ODM ne porte spécifiquement sur l'accès à l'énergie mais le SMDD avait reconnu qu'un accès insuffisant à l'énergie est à la fois une cause et une conséquence de la pauvreté. Les investissements dans le secteur énergétique devaient contribuer à la réduction de moitié de la proportion des êtres humains vivant dans la pauvreté d'ici à 2015.

L'Union européenne a donc pris une initiative, dans le domaine de l'énergie, destinée à éradiquer la pauvreté et à promouvoir le développement durable : Initiative de l'Union européenne pour l'énergie (EUEI). À partir de 2006, la mise en place de la « Facilité ACP-EC Énergie » se voulut l'élément moteur de cette initiative décidée au cours de la 29^{ème} session du Conseil des ministres ACP-UE, qui s'était tenue les 6 et 7 mai 2004 à Gaborone, au Botswana et qui a été officiellement approuvée le 25 juin 2005. Une dotation de 220 millions d'euros a été attribuée pour, entre autres, financer des projets d'investissement pour améliorer l'accès des populations pauvres aux services énergétiques.

La notion d'« appropriation » est au cœur de l'approche de la Facilité Énergie, puisque celle-ci est entièrement guidée par la demande en termes de conception, d'initiative et de mise en œuvre. Une des idées maitresses est aussi que la Facilité joue un rôle de catalyseur (encouragement d'initiatives, apport d'informations, centralisation et renforcement des capacités de recherche et de gestion dans les pays ACP) et d'instrument pouvant constituer le chaînon manquant dans le financement de projets et d'activités viables. La combinaison de subventions et d'autres ressources devrait permettre d'augmenter leur efficacité et de soutenir la conception de projets et l'instauration d'un cadre propice aux investissements. Elle devrait jouer un rôle dynamique dans la création de nouveaux partenariats entre les collectivités locales, les ONG et les secteurs public et privé, et fournir des informations et une assistance aux prestataires de services européens et locaux dans le domaine de l'énergie, désireux d'investir dans le secteur. Le mécanisme de l'appel à propositions apparaissait être le plus adapté pour garantir une approche axée sur la demande, mécanisme souple, ouvert, transparent et qui garantissait l'égalité des chances¹.

DE 2007 À 2012 : LA LIGNE FORÊT TROPICALE, LE PROJET GESTION FORESTIÈRE COMMUNALE ET COMMUNAUTAIRE (GESFORCOM) ET LA PREMIÈRE INSTALLATION ERD BIOMASSE-VAPEUR À MADAGASCAR

La ligne forêt tropicale 21 02 05

En 2005, un appel à proposition du « Programme Forêts Tropicales et autres Forêts dans les Pays en Développement » Ligne budgétaire 21 02 05 était lancé par l'UE. Cet appel à proposition voulait répondre aux importants changements constatés lors de la décennie 1990, en particulier marqués par la conférence de Rio de 1992 et par la mobilisation autour des questions environnementales. C'est en 1991 qu'à l'initiative

¹ Extrait des lignes directrices de l'appel à proposition de la Facilité Énergie 1 de septembre 2006.

du Parlement européen, la ligne budgétaire «Forêts tropicales» était créée dans le but de contribuer à la préservation des forêts tropicales. Plusieurs règlements étaient engagés et arrêtaient, pour la conservation et la gestion durable des forêts tropicales, une enveloppe budgétaire pour la période 2000-2006 de 249 millions d'euros. Ce programme Forêts Tropicales et autres Forêts dans les Pays en Développement avait défini plusieurs priorités respectant les «orientations stratégiques» 2005-2006. Outre les questions «forêts et gouvernance», «utilisation durable de la biodiversité forestière», le programme souhaitait soutenir les «petites entreprises forestières à caractère communautaire», «forêts, bois et énergie» et «les forêts dans la planification économique et les stratégies de réduction de la pauvreté».

Cet appel à proposition offrit au CIRAD et à ses partenaires malgaches du FOFIFA, de l'ONG PARTAGE et de l'ADER l'opportunité de proposer, respectant le cadre fixé par les lignes directrices, des actions qui rentreraient dans la problématique énergie. La proposition faite en 2005 intitulée «projet Gestion forestière communale et communautaire» (GESFORCOM) fut exécutée de 2007 à 2012 et permis à Madagascar de développer un premier axe d'activités autour de la question du bois-énergie et de l'approvisionnement en bois de feu ou charbon de bois de la ville de Mahajanga. Des méthodes novatrices d'exploitation des ressources forestières dans le respect des textes législatifs et réglementaires, de transformation en charbon de bois (si il y a lieu) et de commercialisation vers les centres urbains en assurant un transfert de ressources financières au profit des populations rurales, ont été développées. Les résultats furent synthétisés dans trois ouvrages de capitalisation (voir les ouvrages Kajjala, 2013) et dans de nombreuses publications scientifiques ou de vulgarisation.

Un deuxième axe fut développé dans la proposition GESFORCOM, qui s'intéressa à la problématique de l'électrification rurale décentralisée. L'idée fut d'engager, à Madagascar, un investissement pour une installation communale de production d'ERD mais aussi d'une unité de sciage-séchage de bois œuvre («petite entreprise forestière à caractère communautaire») qui serait complémentaire des actions d'aménagement forestier engagées pour la production de bois d'œuvre et d'huiles essentielles dans la commune de Didy (région Alaotra-Mangoro). La valorisation du bois œuvre issus des formations forestières gérées durablement devait permettre aux communautés limitrophes du massif forestier d'Ambohilero et à la commune de tirer des revenus d'une exploitation raisonnée. L'enjeu était d'assurer la première transformation de ce bois (sciage des grumes en planches et madriers) dans l'unité de sciage-séchage de la commune d'Andaingo où serait également installée une unité de production d'ERD alimentée par le bassin de plantation en Eucalyptus de près de 2 500 ha dans lequel une centaine d'hectares pourraient être aménagés. L'ERD produite à Andaingo associée à l'unité de sciage-séchage devait favoriser la transformation locale du bois et l'électrification de la commune d'Andaingo.

L'INSTALLATION D'UN ÉQUIPEMENT ERD «BIOMASSE VAPEUR» ASSOCIÉ À UNE UNITÉ DE SCIAGE ET DE SÉCHAGE DU BOIS DANS LE COMMUNE D'ANDAINGO (RÉGION ALAOTRA-MANGORO)

Une technologie innovante pour une meilleure valorisation des ressources ligneuses

L'enjeu premier de cet équipement de production d'électricité rurale dans le cadre de la proposition GESFORCOM était de développer parallèlement une installation de sciage et de séchage du bois d'œuvre issu de l'aménagement durable de la forêt d'Ambohilero dans la commune de Didy. Il s'agissait de faciliter la première transformation des grumes, ou «traverses» selon le terme consacré, en planches ou autres produits au plus près de la zone d'exploitation. Ceci devait permettre d'améliorer les revenus ruraux par une meilleure captation de la valeur ajoutée dégagée par cette transformation réalisée localement, et non à Antananarivo. Cette optimisation devait donc être faite sur toute la chaîne, en particulier au niveau du coût d'exploitation de la scierie et du séchoir installés dans la commune. Il était nécessaire de changer de maîtriser les coûts énergétiques et passer d'une ERD thermique par groupe diesel à une ERD énergie renouvelable. En l'absence de potentiel hydroélectrique, solaire ou éolien, l'alternative disponible s'est trouvée être le gisement de biomasse ligneuse du territoire de la commune, soit quelque 2 500 hectares d'Eucalyptus déjà valorisés pour l'énergie, le plus souvent sous forme de charbon de bois. L'ADER a accepté d'assurer le cofinancement (à hauteur de 80%) de l'équipement ERD biomasse identifié par le CIRAD chez une petite PME du sud du Brésil, la société ENGETHERM,

devenue en 2012 PSI (voir article 2). Initialement plutôt fabricante de chaudières, cette PME avait eu l'idée, au début des années 2000, de développer un moteur vapeur de petite puissance qui, associé à un ensemble foyer chaudière-alternateur permet la fourniture d'électricité à un coût 50 % inférieur au coût de production d'électricité par groupe diesel. C'est sur cette base que la proposition a été formulée et que cette PME a été présentée comme partenaire du projet GESFORCOM. À ce titre, elle a été fournisseur de l'installation complète foyer + chaudière + moteur vapeur.

La commune d'Andaingo et l'aménagement des formations d'Eucalyptus

La commune rurale d'Andaingo est située à 90 kilomètres de Moramanga et à 60 kilomètres d'Ambaton-drazaka sur la route nationale 44 (Moramanga-Ambatondrazaka). Elle occupe une surface de totale de 484 km². La population totale est de 23 210 habitants. La commune dispose d'importantes ressources en bois plantés répartis en (i) plus de 9 000 hectares de *Pinus taeda* de la Société Fanalamanga, à vocation bois d'œuvre, en mesure de fournir d'importants volumes de déchets de bois (dosses surtout) pour des usages énergétiques, et (ii) plus de 2 500 hectares d'*Eucalyptus robusta* dont le tiers traités en taillis à courte rotation (TCR) ou en taillis-sous-futaie sur souche, dont le débouché principal est la production de charbon de bois destiné à la ville d'Antananarivo.

Pour préparer la mise en place de cet investissement et surtout les conditions de son fonctionnement, un schéma d'approvisionnement en biomasse de la centrale (SABC) a été élaboré sur la base de plusieurs études économiques, sociales et techniques. Ce SABC et le Plan simple de gestion (PSG) associé permettent de préparer l'aménagement d'une partie de ces peuplements plantés par des coupes de type TCR. Plusieurs acteurs sont concernés par la mise en place de cet équipement et l'approvisionnement en biomasse bois : bûcherons, gestionnaire de la centrale à biomasse (acheteur du bois), commune et administration chargée des forêts.

Deux plantations ont été identifiées comme étant à même d'assurer l'approvisionnement de la centrale en biomasse ligneuse. Une plantation propriété de la commune de 220 hectares et des propriétaires privés de plantations d'*Eucalyptus* qui sont en mesure d'assurer une part de l'approvisionnement avec des plantations dispersées d'une surface totale de 69 ha. La rotation des coupes est de 5 ans. La plantation communale est en mesure de fournir 400 tonnes de bois bûche à partir de l'exploitation de 8,7 ha/an soit 46 tonnes par ha de bois bûche sur une surface exploitée de 44 ha.

INVESTISSEMENT RÉALISÉ ENTRE 2010 ET 2011 POUR L'ÉQUIPEMENT DE LA COMMUNE D'ANDAINGO AVEC UNE CENTRALE THERMOÉLECTRIQUE ET UNE UNITÉ DE SCIAGE ET DE SÉCHAGE DU BOIS ŒUVRE

Le processus d'acquisition de l'équipement ERD et de l'unité de sciage-séchage d'Andaingo a démarré, en relation avec les partenaires ENGETHERM (fournisseur) et ADER (cofinancier), mi-2008. Les bâtiments ainsi que les matériels de sciage-séchage furent acquis selon les procédures normales d'appels d'offre de l'UE. Les matériels de l'unité de sciage-séchage furent montés prêts à fonctionner fin 2011. La fabrication par ENGETHERM de l'ensemble foyer + chaudière + moteur vapeur s'est poursuivie au Brésil jusque fin 2011 et un test de l'installation a été réalisé en février 2012 en présence de l'ADER et du responsable du projet. Le container avec l'ensemble du matériel fut livré à la commune fin juillet 2012. Un sous-traitant malgache assura le montage de l'installation qui a été prête à démarrer fin août 2012. L'équipe brésilienne procéda aux vérifications et assura le démarrage le 6 septembre 2012. Après trois mois de fonctionnement normal, cette installation rencontra des difficultés liées à l'apprentissage de la maîtrise de son fonctionnement par les techniciens du gestionnaire (maniement des vannes de réglage entrée vapeur dans le moteur) mais aussi à des problèmes de lubrification. Aucun problème particulier ne s'est posé sur les autres matériels comme le foyer, la chaudière et l'alternateur.

Il faut retenir que, quelles que soient les défaillances mécaniques rencontrées en particulier le moteur, l'équipe de maintenance du Bureau d'Etude et des Travaux de Construction (BETC Nanala) a toujours pu trouver des solutions avec les entreprises de chaudronneries ou de tournage d'Antananarivo. À la fin 2015, l'installation fonctionne et assure la fourniture d'ERD à la commune notamment à l'unité de sciage et de séchage. Ce fait montre la rusticité et la robustesse de l'installation du moteur à vapeur.

Il n'est pas du tout certain qu'une installation du même type ERD biomasse vapeur mais comportant des composants électroniques aurait pu être réparée par ces mécaniciens.

L'ensemble du matériel est contractuellement cédé à la commune d'Andaingo. La gestion quotidienne est contractée à un gestionnaire privé choisi par l'ADER. L'activité de sciage et de séchage assure une charge minimale à la centrale ERD. Une redevance est payée par le gestionnaire de la scierie à la commune. Il achète le stère de bois à 10 000 Ar si le bois est livré en rondins à la centrale et à 5 500 Ar si le bois est acheté sur pied, dans la plantation.

L'investissement financier de l'ensemble centrale et équipement sciage/séchage a été (prix 2011) de 342 500 euros dont 185 400 euros pour la centrale ERD biomasse, soit 150 000 euros pour l'ensemble foyer, chaudière, moteur et alternateur, 21 400 pour la construction du bâtiment et 14 000 pour l'installation du matériel dans le bâtiment. La scierie et le séchoir ont eu un coût de 157 100 euros. Ces investissements ont été pris en charge à 80 % par l'ADER au titre de sa subvention d'investissement des équipements ERD et par le projet c'est-à-dire l'UE à hauteur des 20 % restants. Pour l'unité de sciage-séchage la proportion a été inversée.

La centrale thermoélectrique a une puissance installée de 75 kWe. À titre indicatif, on peut retenir que le dimensionnement des installations permet que l'unité de sciage et de séchage de bois consomme la moitié de la puissance électrique le réseau de distribution électrique domestique, les artisans (dépaillage et décorticage du riz), les petits commerces et les services publics (éclairage public) l'autre moitié.

L'impact prévisible de l'électrification sur le développement local et la réduction de la pauvreté

L'électrification rurale du chef-lieu de commune d'Andaingo, réalisée dans le cadre du projet GESFORCOM, vise à permettre plusieurs objectifs spécifiques dont les principaux sont :

- Réduction de la pauvreté grâce à l'augmentation du revenu monétaire des paysans par la vente du bois de leurs plantations et par les activités économiques permises grâce à l'électrification ;
- Développement d'activités économiques grâce à la disponibilité d'électricité à faible prix (700 Ariary/kWh à comparer au prix habituel de l'ERD thermique qui varie entre 1500 et 2000 Ar/kWh ou entre 20 000 à 50 000 Ar/mois en prix forfaitaire selon la formule de souscription) ;
- Plus de 600 ménages, 103 activités génératrices de revenus et 11 infrastructures publiques peuvent bénéficier de l'électricité ;
- Aucun effet environnemental négatif n'est identifié. La centrale n'émet que des fumées contenant du carbone d'origine renouvelable et de la vapeur d'eau et les seuls déchets seront des cendres de bois ;
- La gestion forestière durable respectueuse des règles de bonne gestion forestière permet d'optimiser le cycle d'exploitation des plantations privées d'Eucalyptus et de leur donner davantage de valeur.

Conclusion sur la mise en place de la centrale thermo-électrique à Andaingo

Cette centrale thermoélectrique, la première de Madagascar, est fonctionnelle depuis le 6 septembre 2012. L'enjeu de cet équipement qui permet de proposer aux clients une électricité au prix de vente de 700 Ar/kWh (0,24 €) est :

- d'assurer la production et la distribution d'électricité rurale décentralisée à faible coût, ce qui constitue un facteur de développement d'activités économiques génératrices de revenus en aval, d'une part, et d'autre part ;
- d'être une source de revenus par la mise en place de filières d'activités en amont pour l'approvisionnement en combustible (récolte, façonnage et transport de bois, déchets ou balles de riz) de la centrale.

Ce double facteur de développement économique local est propre à l'ERD biomasse et n'existe pas pour les systèmes hydrauliques, éoliens ou solaires (Voir les articles 2, 3 et 7).

Il apparaît aujourd'hui que l'unité ERD d'Andaingo, première installation de ce type à Madagascar voire en Afrique, a fait la preuve de sa résilience malgré de nombreuses difficultés liées aux conditions d'apprentissage de l'utilisation de l'ensemble centrale thermoélectrique et sciage-séchage. L'expérience acquise est indéniable et témoigne de la possibilité, dans des conditions difficiles d'accès et d'éloignement,

de réussir une installation source de richesse pour une commune qui, sans cet effort, resterait à la bougie encore longtemps en l'absence de possibilité pour la société nationale d'électricité de développer son réseau. Cette installation est un bel exemple d'échange de technologie Sud-Sud.

DE 2008 À 2015 : LA FACILITÉ ENERGIE 1, LE PROJET BIOMASSE ÉNERGIE POUR LA RÉDUCTION DE LA PAUVRETÉ PAR L'ÉLECTRIFICATION RURALE DÉCENTRALISÉE (BIOENERGELEC) ET LA VOLONTÉ DE CHANGER D'ÉCHELLE POUR LE DÉVELOPPEMENT DES INSTALLATIONS ERD BIOMASSE-VAPEUR À MADAGASCAR

En 2001, la mise en place de l'ADER, et les possibilités de financement liées à la création du Fonds National d'Électrification (FNE) a offert une opportunité considérable pour engager un vrai développement de l'ERD biomasse à Madagascar. L'ADER était à même de cofinancer par subvention de 80 % du coût de l'investissement matériel, réseau ERD et bâtiment d'une part mais aussi, avec l'expérience Andaingo, d'en assurer la répliation.

C'est dans ce contexte que l'appel à proposition Facilité Energie 1, issu des décisions d'investissement de l'UE, a été diffusé en 2006 pour permettre le développement d'installations ERD qui pourraient être cofinancées par l'ADER et l'UE à travers le FED.

Encadré 1 : Bref retour sur le contexte et leitmotiv du projet

Le projet reposait sur le constat que plus de 70 % des populations rurales malgaches vivent dans des conditions d'isolement liées à l'absence de voies de communication et à une topographie difficile. Le raccordement de ces populations au réseau électrique national géré par la société JIRAMA apparaissait (et 10 ans après ce constat reste valable) irréaliste avant longtemps. Il s'agissait de développer l'accès à l'électricité des populations rurales de six communes de quatre régions de Madagascar par la valorisation de la biomasse énergie pour réduire la pauvreté et améliorer les conditions de vie de ces populations.

Madagascar dispose d'importantes disponibilités en biomasse ligneuse (plantations forestières ou formations naturelles) et leur utilisation comme combustible pour la production d'électricité par la mise en place de réseaux d'électrification rurale décentralisée (ERD) apparaissait possible.

L'ERD fondée sur la biomasse et en particulier sur le bois permet, outre un effet en termes de réduction de la pauvreté commun aux différents systèmes d'ERD, le développement d'une filière locale d'approvisionnement en biomasse. Elle crée de fait une activité économique spécifique permanente pour assurer la gestion durable, l'exploitation et le transport de la biomasse jusqu'au site de production de l'électricité.

La conversion énergétique de la biomasse locale permettait l'obtention d'une électricité à un coût très compétitif comparativement aux autres sources d'énergie d'origine fossile ou d'origine renouvelable. Les activités développées seraient centrées vers la mise en place des outils de production d'ERD par des investissements matériels accompagnés de formations des acteurs. L'ampleur du projet, nécessairement limitée par les moyens disponibles, était également axée sur une dispersion géographique des sites proposés, répartis dans quatre régions pour acquérir des expériences variées dans des contextes socio-économiques, écologiques et humains différents. L'idée était que ces expériences seraient capitalisées pour des extensions futures.

La réponse faite par le CIRAD et ses partenaires, respectant les lignes directrices globales, s'est appuyée financièrement sur une co-contribution de l'UE et du partenaire malgache représenté par l'ADER qui, par son statut d'Etablissement Public, bénéficiait des fonds d'appui à l'électrification rurale collectés par la JIRAMA pour répondre aux demandes d'ERD des communes rurales. La proposition mettait l'accent sur le fait que les investissements réalisés en termes d'équipements ERD seraient à la fois simples d'installation, faciles d'utilisation et de maintenance. Les niveaux d'investissement pour une centrale complète comprenant le bâtiment, le foyer, la chaudière, le moteur avec l'alternateur ainsi que tous les périphériques et le raccordement avaient été évalués, en 2006, lors de la réponse à l'appel à proposition à 218 000 euros. La proposition s'inscrivait dans la rubrique des projets à petite échelle pour une amélioration de l'accès à l'énergie en zones rurales, avec un groupe cible constitué de communautés rurales pauvres auxquelles l'objectif était d'apporter un accès à l'électricité. Elle permettait des emplois pour l'approvisionnement en bois-énergie disponible localement pour alimenter les centrales à biomasse. Elle rejoignait l'objectif global à long terme de la Facilité Energie qui était de contribuer à atteindre les ODM en matière de lutte contre la pauvreté.

Les cinq communes cibles furent choisies dans chaque région selon des critères établis en début de mise en œuvre mais dont les principaux étaient l'existence d'une demande locale solvable d'électricité, le degré d'isolement, de pauvreté et la disponibilité en biomasse énergie pour la production ERD (voir articles 3

et 4). Chaque commune retenue, avec ses propres spécificités, atouts et contraintes, était relativement représentative de chaque région. Dans chaque commune, l'action visait plusieurs groupes cibles, acteurs de la production ERD ou de charbon de bois mais à des niveaux d'intervention différents. Elles furent choisies, après un processus participatif, parmi celles qui sont excentrées par rapport aux grands axes de circulation. La proposition répondait donc à l'objectif spécifique du programme de donner la priorité aux populations établies dans des zones non desservies.

La grande différence entre le volet ERD du projet GESFORCOM et la proposition BIOENERGELEC résidait dans le fait que, pour la proposition BIOENERGELEC clairement orientée «ERD» dans les lignes directrices, le choix a été fait d'une extension quantitative du nombre de communes qui seraient concernées. L'option ERD biomasse serait conservée avec toujours l'effet attendu d'un impact de création de richesses sur l'amont de la production ERD au travers de l'activité d'approvisionnement en biomasse ligneuse des centrales. Les régions Anôsy (sud-est), Boeny (ouest), Haute Matsiatra (centre) et Alaotra-Mangoro (est) furent retenues dans la proposition compte tenu de la disponibilité en biomasses ligneuses variées de plantations d'*Eucalyptus* et de forêts naturelles de *Ziziphus mauritania* dans l'ouest.

Il était retenu la technologie ERD élaborée par la même PME ENGETHERM rebaptisée PSI en 2013 du sud Brésil avec un moteur à vapeur de petite puissance (70 kW) bien adapté pour répondre à la demande domestique et de petit artisanat des communes retenues. Celles-ci ne pouvaient pas être électrifiées avec d'autres énergies renouvelables comme l'hydraulique (absence de chute d'eau), solaire (faible puissance) ou éolien (pas de vent). La seule option qui s'offrait aux communes restait le thermique par groupe électrogène, solution le plus souvent retenue par l'ADER mais coûteuse pour les abonnés et dissuasive pour l'artisanat.

De fait, toutes les options testées à Madagascar pour développer une ERD à partir d'énergies renouvelables sont des actions tests et pilotes qui ont chacune leurs qualités et défauts : la nécessité par exemple pour l'hydraulique de tirer le réseau de transport d'électricité jusqu'à la commune, pour le solaire de mettre en place et de renouveler régulièrement des batteries de stockage électrique pour une assez faible puissance disponible (de l'ordre 7 à 12 kW crête) et pour l'éolien d'avoir une force de vent suffisante, fréquente et assez régulière ! Il est probable que l'expérience progressant pour le jeune organisme qu'est l'ADER, les solutions mises en place dans la décennie à venir bénéficieront des retours d'expériences des différentes solutions ENR testées.

Les communes retenues par la proposition BIOENERGELEC, sélectionnées à partir de la liste des demandes déposées à l'ADER, le furent après un processus de sélection qui s'est déroulé sur une période de 6 mois en 2009 (voir article 3). Les choix se sont faits après analyse de la disponibilité en eau et en biomasse mobilisable comme combustible énergétique, ainsi qu'analyse de la capacité des communes à dégager le foncier nécessaire à l'infrastructure. Bien qu'initialement retenue, la commune d'Iforantsa a ensuite fait l'objet d'une requête pour annulation compte tenu de la destruction de la forêt plantée de la Fanjahira et de la modification des prix des matériels ERD (liés en grande partie à l'évolution des taux de change entre Réal brésilien, Dollar US et Ariary).

Concernant l'équipement de production d'ERD biomasse vapeur, à la date de la proposition (septembre 2006), nous ne disposions pas du retour d'expérience d'Andaingo et, nonobstant les résultats obtenus au cours des années 2013 à 2014 en termes d'expérience en maintenance notamment du moteur, aucune autre option n'était apparue pour la fourniture de ce moteur. La proposition faite par le CIRAD et ses partenaires prévoyait une extension géographique de l'expérience d'Andaingo dans le même contexte partenarial c'est-à-dire avec les mêmes fournisseurs d'équipements. Cependant, compte tenu du budget d'investissement élevé, les règles de financement de l'UE et du Fonds Européen de Développement (FED) nous ont amené à préparer un dossier d'appel d'offres (DAO) international pour le choix d'un fournisseur pour les six équipements ERD prévus. Ce DAO fut élaboré fin 2009 et intégra, compte tenu de l'inexistence de moteurs à vapeur de 70 kW_e de puissance dans les pays de l'espace européen et des pays ACP, une dérogation de l'UE à l'acquisition de ce matériel élargie au niveau mondial.

Dans le strict respect des procédures FED, en accord avec l'UE et après avoir réduit le nombre de communes cibles de 6 à 5, un contrat fut signé entre l'ADER et une société spécialisée dans les réponses à ces appels d'offre pour la fourniture de matériels mais qui se positionnait comme intermédiaire

entre les entreprises fabricantes des matériels et l'ADER. L'engagement contractuel de cette société était donc d'assurer la commande des matériels, leur installation dans les 5 communes et leur mise en fonctionnement dans un délai d'un an soit au plus tard le 15 janvier 2013. Pour des raisons encore obscures, le contrat ne fut pas respecté et au terme du temps prévu pour l'exécution du projet (fin mars 2013), aucune installation n'était fonctionnelle.

Le projet décida alors de sécuriser les deux premières installations des communes de Manerinerina et de Didy en assurant la mobilisation des fonds UE du projet pour l'acquisition des ensembles foyer-chaudière moteur et alternateur. La société contractée par l'ADER assurerait la prise en charge des infrastructures bâtiments dans les deux communes et réseau de la commune de Didy. À la fin du projet soit au 31 décembre 2015, malgré de nombreux échanges et mises en demeure de l'ADER, avec le soutien de la DUE qui accepta quatre prolongations successives du contrat CIRAD-UE, force est de constater que ces deux communes auront été les seules équipées.

Un avenant préparé par l'ADER en mai 2014 ne fut jamais signé et notifié du fait de la modification du budget pour passage de 5 à 4 installations qui ne pouvait rester celui prévu pour 5 installations. In fine, nous retenons une atmosphère difficile entre le fournisseur et l'ADER qui avait, dès la signature du contrat en décembre 2011, assuré le virement d'avance prévu soit près de 586 000 euros. Ces fonds furent bloqués par la banque du fournisseur (identifiée par le contrat signé le 6 septembre 2011). Ce blocage rajouté à d'autres facteurs empêcha le bon déroulement du contrat par paiement des fournisseurs et donc décaissement de l'avance et au final le réapprovisionnement par absence de décaissement (à peine 42% soit 255 000 euros en quatre ans !). Le projet n'a jamais eu de prise sur le processus de décaissement des fonds ADER qui se faisait sous l'entière responsabilité du fournisseur retenu après l'appel d'offres international.

Dans un tel ouvrage synthétique où il est surtout mis l'accent sur le déroulement technique que cela soit pour l'organisation des filières d'approvisionnement en biomasse ligneuse, de retour d'expérience sur le fonctionnement des installations de Manerinerina et d'Andaingo, de rappel historique sur la conception et la fabrication du moteur par le fournisseur brésilien ou encore d'analyse des premiers résultats des études d'impact sur la pauvreté etc. il n'est pas possible de rentrer dans le détail de ces difficultés d'ordre financier sur lesquels le projet n'avait pas de prise, hormis pour ce qui concernait la mobilisation des fonds UE (soit 518 000 euros). À la fin du projet, ces fonds UE auront assuré quasiment les deux tiers des coûts d'investissements pour les équipements ERD et permis d'équiper deux communes sur les cinq prévues initialement. La défaillance financière du fournisseur qui ne sera pas parvenu à mobiliser qu'un peu plus de 40% du montant reçu de l'ADER en quatre ans aura véritablement pénalisé le projet.

Au vu du nombre final d'installations installées et fonctionnelles soit deux sur cinq, il peut aisément être conclu que c'est un échec qui doit être relativisé au regard de plusieurs faits sur lesquels le projet n'avait que peu d'influence :

- L'obligation de passer par un appel d'offres international qui a de fait introduit un acteur intermédiaire sans aucune plus-value entre l'ADER et le fabricant de moteur à vapeur brésilien,
- La quasi obligation d'avoir du retenir ce fournisseur (le seul à avoir répondu à l'appel d'offres) qui, dès la signature de son contrat, a douté de la volonté de cofinancement de l'ADER et a été plus préoccupé à gérer *a minima* les risques alors même que ce cofinancement était bien validé par les instances supérieures de l'ADER et les fonds disponibles au titre du FNE. L'ADER a régulièrement réitéré sa volonté de mobiliser ces fonds. Sa seule exigence était de pouvoir constater l'avancée effective des travaux d'installation des cinq équipements selon le calendrier retenu par le contrat.

Au-delà de ce constat d'échec quantitatif, il est clair, et c'est une des raisons de cet ouvrage, que la proposition n'a pas fait un mauvais choix technologique. L'option d'une ERD produite par un moteur à vapeur entraînant un alternateur est, au vu des deux premiers sites équipés, une solution très intéressante parce qu'économiquement rentable sous certaines conditions de qualité, de prix et bien sûr de disponibilité de la biomasse. Technologiquement, les autres options d'ERD notamment gazéification de biomasse, solaire, éolien ou hydraulique sans parler du thermique gasoil restent ouvertes sous réserve des conditions locales appropriées à telle ou telle technologie.

Dans la mesure où un élément central de la proposition était l'existence d'un potentiel de création de richesse en aval (l'ERD) et en amont (la filière de collecte, transport et commercialisation de la biomasse), le choix technologique de la proposition allait vers l'ensemble foyer-chaudière-moteur vapeur où la biomasse ligneuse pouvait être brûlée directement dans les foyers. L'idée centrale de la proposition était (et reste) cohérente avec le choix technologique.

Il faut en outre souligner que, même si des difficultés ont été rencontrées, les deux installations sont fonctionnelles et les mécanos-électriciens sont à même d'assurer la maintenance des installations. Un réseau d'appui d'ateliers mécaniques a été constitué entre les gestionnaires et en particulier les mécanos-électriciens qui sont au quotidien en charge de faire fonctionner les installations et peut assurer toutes les réparations des moteurs. Soulignons enfin que l'expérience acquise grâce au moteur en fonctionnement à Andaingo, a permis au fabricant brésilien de faire des améliorations continues.

Un ouvrage de synthèse et d'analyse des principaux résultats atteints

Alors que le projet BIOENERGELEC s'est achevé à la fin de l'année 2015, il est apparu important de préparer un produit qui puisse permettre aux acteurs et partenaires de connaître les résultats obtenus après sept années d'exécution. L'objet de cet ouvrage est, sans nier les difficultés rencontrées, notamment financières pour faire face aux termes de référence, d'explicitier en une dizaine d'articles synthétiques ce qui a pu être fait par les partenaires du projet. Il s'agit de montrer qu'une ERD fondée sur la biomasse au bénéfice de communes rurales trop éloignées du réseau national est tout à fait réaliste eu égard aux contraintes techniques lesquelles apparaissent, en fin de projet, comme minimales vis-à-vis des contraintes financières liées à la défaillance du fournisseur.

Cet ouvrage HAZAVANA « *Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra* » ou Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse est édité par l'ONG Homme et Environnement, partenaire du CIRAD dans le cadre de l'exécution du projet COGESFOR. Il fait suite aux six ouvrages déjà édités par le CIRAD et ses partenaires de Madagascar (Cf. page 149, liste des ouvrages du CIRAD).

REMERCIEMENTS DES COORDINATEURS SCIENTIFIQUES

Les résultats obtenus au cours des sept années d'exécution du projet sont, avant toute chose, le fruit du travail des acteurs le plus souvent anonymes des cinq sites communaux d'intervention dans les régions Alaotra-Mangoro, Boeny, Anosy et Haute Matsiatra. C'est à eux qu'il faut, en premier lieu, adresser nos remerciements. Au regard des résultats obtenus, avec seulement deux sites équipés (Manerinerina et Didy) sur les cinq prévus, nous nous excusons sincèrement auprès des populations et en particulier des responsables communaux des trois autres sites qui n'ont pu être électrifiés, malgré tous les efforts consentis et les appuis répétés de l'UE qui a accepté d'accorder trois prolongations successives (d'avril 2013 à décembre 2015). Nous partageons les sentiments de déception et de regret de ces populations pour lesquelles l'ensemble des partenaires s'est mobilisé au cours de toutes ces années. La déception est d'autant plus forte que, de notre point de vue, l'échec est imputable plus à des considérations d'ordre administratives et procédurières qu'à des problèmes strictement techniques pour lesquels nous avons toujours trouvé des solutions.

Cet ouvrage n'aurait néanmoins pas pu voir le jour sans l'appui, souvent déterminant, à différents moments, des personnes qu'il convient ici de remercier.

Nous voulons tout d'abord exprimer notre gratitude à l'Union Européenne et à tous les responsables successifs des projets « Ligne Forêt Tropicale » et « Facilité Energie » à Bruxelles ou à Antananarivo, initiateur des appels à proposition qui ont permis la mise en œuvre et le financement respectivement des projets GESFORCOM et BIOENERGELEC. Sans ces appuis financiers, une telle synthèse récapitulative des principaux enseignements issus des actions pour le développement de l'ERD à Madagascar n'aurait pas été possible.

Nous remercions tous ces partenaires ADER, ONG PARTAGE et FOFIFA sans qui l'exécution de ce projet n'aurait pas été possible. Nous n'oublions pas les partenaires associés que sont la Direction Générale des Forêts du Ministère de l'Environnement et des Forêts et ses directions régionales de Mahajanga, Fianarantsoa, Fort-Dauphin et Ambatondrazaka et la Direction Nationale de l'Energie du Ministère de l'Energie et des Mines et ses directions régionales qui ont joué un rôle fondamental dans l'exécution au quotidien des activités. L'implication et la participation active de l'administration sont la condition de réussite de l'après-projet qui est une période souvent délicate dans la mesure où les moyens apportés sont retirés de façon brutale.

Au niveau local, il faut remercier les communautés locales de base (Vondron'Olona Ifotony), institutions communautaires initiées par l'État malgache par les réformes des cadres légaux forestiers (loi 97-017) et environnementaux (loi 96-025) en 1997 et 1996 qui se sont mobilisées, notamment à Manerinerina, pour organiser l'approvisionnement en biomasse ligneuse de la centrale. Également les sociétés BETC, CASIELEC et SERMAD retenues par l'ADER pour être les permissionnaires des sites électrifiés et assurer la maintenance des installations. Leurs engagements au travers de leurs mécanos-électriciens ont permis d'acquérir des expériences fortes pour maintenir l'activité des installations en relation avec la société BIONERR qui a assuré la mise en place des installations et fait preuve d'un savoir-faire indéniable. Il faut espérer que les derniers efforts du projet pour pérenniser le fonctionnement de ces centrales par la création d'une « task force maintenance ERD Biomasse » seront un succès qui démontrera leur capacité de maîtrise de la technologie.

Enfin, nous remercions très sincèrement l'ensemble de nos collègues ingénieurs, chercheurs, étudiants et consultants qui ont apporté leur contribution au bon déroulement des activités développées et participent également concrètement à l'élaboration de cet ouvrage.

Il faut enfin remercier toutes les personnes des services administratifs et comptables de tous les partenaires et du département Environnements et Sociétés du CIRAD qui ont toujours soutenu le projet.

Si une institution ou une personne a été omise, c'est parce que l'importance et la diversité des contributions dépassent notre mémoire – la richesse de cet ouvrage est grâce à vous tous une réalité.

Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra
Coordinateurs scientifiques

AVERTISSEMENT DES ÉDITEURS

Le présent ouvrage se veut une compilation des travaux réalisés dans le domaine de l'électrification rurale décentralisée par les projets GESFORCOM et BIOENERGELEC.

Le mot HAZAVANA, acronyme en langue malagasy Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra qui, en français, signifie Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse, titre de l'ouvrage permet de situer sa préoccupation principale et le centre des discussions de l'ouvrage.

Tous les articles ont été rédigés par des ingénieurs-consultants, chercheurs ou étudiants-stagiaires acteurs des activités développées et qui, au-delà de leurs cadres contractuels initiaux, ont bien voulu consacrer leur temps pour retracer leurs expériences et faire en sorte que les résultats obtenus ne soient pas oubliés dans les rapports d'expertise. Cet ouvrage permet, en quelques 150 pages, de rassembler l'essentiel des résultats obtenus et de les conserver dans une bibliothèque au bénéfice, par exemple, des écoles d'agronomie, d'énergie ou de foresterie.

Compte tenu des propositions d'articles faites par les auteurs, nous avons retenu d'en insérer un échantillon représentatif des activités réalisées dans chaque site. C'est ainsi que 9 articles ont été insérés.

Chaque auteur, notamment le premier, est responsable du texte soumis. Les coordinateurs scientifiques de l'ouvrage n'ont pas voulu apporter de modifications de fonds sur les articles proposés, qui sont de la responsabilité des auteurs. Les illustrations, notamment photos ou dessins colorés, sont visibles dans le feuillet intercalaire et le lecteur est invité à relever la référence pour le retrouver dans le feuillet central.

Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra
Coordinateurs scientifiques

Auteurs

Nom et Prénoms	Fonctions - responsabilités - Institution	Adresse postale	Adresse électronique
Andriambolanoro Daniel	Chercheur socio-économiste et SIG-iste - FOFIFA/DRD	34 rue Fernand Kasanga, Tsimbazaza Antananarivo 101 - Madagascar	andriambolanorodaniel@yahoo.fr
Andriamialiranto Landy Holy Harifera	Etudiant de l'ESSA en collaboration avec le Cirad	Ampatsakana III E 18 Antananarivo 101 - Madagascar	andriamialirantol@yahoo.fr
Andriamifidy Andoniaina Vatosoa	Consultante PARTAGE	Enceinte FOFIFA/DRFP Ambatobe Antananarivo 101 - Madagascar	avatosoa@yahoo.fr
Andrianjafy Honoré	Chercheur retraité, FOFIFA/DRFP	FOFIFA/DRFP Département de recherches forestières et piscicoles Ambatobe - Box 904 Antananarivo 101 - Madagascar	honorrandrianjafy@yahoo.fr
Andriantavy Hary	Consultant - Gérant CEDRE sarlu	Lot D194 Amboasary Ambodivondava Alasora 103 - Madagascar	hary_andriantavy@yahoo.fr cedre.sarlu@gmail.com
Bélières Jean-François	Chercheur socio-économiste UMR ART-DEV Département ES du CIRAD	Cirad Ampandrianomby - BP 853 - Antananarivo 101 - Madagascar	jean-francois.belieres@cirad.fr
Bertrand Alain	Chercheur Cirad retraité, forestier socio-économiste	89 rue saint Eldrade, 05220 Le Monétier les Bains, France	edenia.consult@gmail.com
Chaix Gilles	Chercheur génétique et formation du bois, UMR AGAP, Département BIOS, Cirad	ESALQ/Universidade de São Paulo Departamento de Ciências Florestais - Avenida Pádua Dias 11 Caixa Postal 9 - CEP 13418-900 Piracicaba-SP, Brasil	gilles.chaix@cirad.fr
François Pinta	Chercheur technologue; systèmes biomasse énergie UPR BioWooEB Département Persyst du CIRAD	Cirad Bâtiment 16 - TA B-114 / 16 - 73 rue Jean-François Breton - 34398 Montpellier Cedex 5 France	francois.pinta@cirad.fr
Gazull Laurent	Chercheur géographe UR 105 BSEF Département ES du CIRAD	CIRAD Campus de Baillarguet, TA C-105 / D - 34398 Montpellier Cedex 5 - France	laurent.gazull@cirad.fr
Girard Philippe	Directeur régional pour l'Asie du Sud-Est continentale Dgdrs - CIRAD	CIRAD Office - Van Phuc Diplomatic Compound - Bldg 2G - Off. 102 - 298 Kim Ma Hanoi - Vietnam	philippe.girard@cirad.fr
Herimiasa Tiana	Technicien - ONG PARTAGE	ONG PARTAGE Lot 194 bis Faralaza Talatamaty Antananarivo 105 - Madagascar	athmiasa@yahoo.fr
Lepinay Pierre	Ingénieur forestier - chargé de mission à l'interprofession ARFOBOIS Languedoc-Roussillon, ex-stagiaire à l'ONG PARTAGE, Madagascar	ARFOBOIS 385 Avenue des Baronnnes, 34730 Prades-le-Lez, France	pierre.lepinay@free.fr
Montagne Pierre	Chercheur agro-économiste, chef de projet BIOENERGÉLEC, UPR 105 BSEF Département ES CIRAD	Direction régionale du Cirad Afrique de l'Ouest continentale 01 B.P. 596 68 avenue J. Ki Zerbo Ouagadougou - Burkina Faso	pierre.montagne@cirad.fr
Peltier Régis	Ingénieur de recherche en Foresterie rurale et Agroforesterie CIRAD-ES-UPR BSEF	Campus de Baillarguet, TA C-105 / D, 34398 Montpellier Cedex 5 - France	peltier@cirad.fr

Pereira Gustavo	Directeur Commercial PSI Energia Termica Limpa	Rua Alarico Ribeiro, 2033 – CEP 96.503-071 Bairro Santa Helena Cachoeira do Sul - Brésil	gustavo@psienergiatermica.com.br
Rafanomezantsoa Roger	Technicien - ONG PARTAGE	ONG PARTAGE Lot 194 bis Faralaza Talatamaty Antananarivo 105 - Madagascar	raf.roger@hotmail.fr
Rakotoarimanana Mamisoa	Secrétaire Exécutif de l'Agence de Developpement de l'Electrification Rurale (ADER)	Logement 12, Cité des Travaux Publics Alarobia Antananarivo 101 - Madagascar	rmamisoa@moov.mg
Rakotomalala Tsila	Technicien - ONG Partage	ONG PARTAGE Lot 194 bis Faralaza Talatamaty Antananarivo 101 - Madagascar	tsila.rakotomalala@gmail.com
Rasamindisa Alain	Bois Energie et Feuillus	FOFIFA/DRFP, BP 904 Antananarivo 101 - Madagascar	amrasami@yahoo.fr
Ratsisetraina Zo Mampionona	Consultant Géographe, Socio-Organisateur Projet Arina	IIV 59 Ampandrana Ouest. Antananarivo	zo.mampionona@gmail.com
Razafimahatratra Serge	Gérant ONG PARTAGE	ONG PARTAGE Lot 194 bis Faralaza Talatamaty Antananarivo 105 - Madagascar	partageassociation@yahoo.fr
Razafindratovo Ndriana	Ingénieur IAA DGF / DVRN	DGF / DVRN BP 243 Nanisana Antananarivo 101 - Madagascar	ndrinarazaf@yahoo.fr ndriana.razafindratovo@meeft.gov.mg
Razafindrianilana Norbert	Chercheur en Sylviculture tropicale et en Aménagement des forêts	FOFIFA/DRFP, BP 904 Antananarivo 101 - Madagascar	razafindrianilanorbert@gmail.com
Rousset Patrick	Chercheur - UPR 114 BLOWOEB - CIRAD	Joint Graduate School of Energy and Environment, Centre of Excellence on Energy Technology and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi Bangkok - Thailand	patrick.rousset@cirad.fr
Silveira Alexandre	Directeur Général PSI Energia Termica Limpa	Rua Alarico Ribeiro, 2033 – CEP 96.503-071 Bairro Santa Helena Cachoeira do Sul - Bresil	alexandre@psienergiatermica.com.br

Encadrés, tableaux, illustrations

Article	Intitulé	Page
Introduction	Encadré	
	1: Bref retour sur le contexte et leitmotiv du projet	12
1	Tableaux	
	1: La disponibilité en résidus agricoles pour la production électrique décentralisée	36
	2: Les caractéristiques principales des sites installés	38
	3: Les coûts de production des différents types d'installations	41
	Figures	
	1: Coût de production prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kWh) en comparaison des autres technologies disponibles	37
	2: Coût d'investissement prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kW installé [HT]) en comparaison des autres technologies disponibles	37
	Tableaux	
	1: Rendements thermodynamiques des moteurs à vapeur	45
	2: Gamme de caractéristiques techniques d'installations à moteur à vapeur	47
3: Principales mesures et caractéristiques du prototype Engetherm	48	
4: Spécification de la chaudière PSI	49	
5: Spécifications techniques pour le modèle MVPSI-100	50	
2	Figures	
	1: Schéma général d'un ensemble moteur à vapeur	44
	2: Schéma de principe du moteur à vapeur	44
	3: Détail de l'alimentation moteur en vapeur	50
	Tableaux	
	1: Principaux éléments de comparaison de deux types de centrale de production pour l'électrification rurale : l'une par groupe électrogène diesel, l'autre par centrale à biomasse	54
	2: Besoins en électricité d'un village par type d'activité	56
	3: Comparaison des 5 communes cibles	59
	4: Choix des communes cibles	61
	5: Choix des communes cibles (2)	61
6: Bois d' <i>Eucalyptus</i> sp.	62	
7: Principales cultures agricoles correspondantes à un potentiel de déchets disponibles au niveau de chaque commune	64	
8: Caractéristiques physiques des déchets agricoles	64	
9: Récapitulation de l'équivalent bois estimé sur la base des quantités par type de déchets agricoles dans les 6 communes étudiées	65	
10: Les communes cibles du projet BIOENERGELEC	66	
11: Explications des choix des communes	67	
12: Elimination de la commune d'Amboasary	67	
3	Figures	
	1: Organisation prévisionnelle de l'approvisionnement en déchets agricoles d'une centrale thermoélectrique	57
	2: Critères de choix des communes cibles	60
4	Tableau	
	1: Étude des caractéristiques de base du bois de jujubier	74
	Figure	
1: Tarif de cubage construit à partir du jeu de données de Manerinerina	73	
5	Tableau	
	1: Procédures de délivrance des permis d'exploitation	83

6	Tableaux	
	1: Les étapes du protocole d'évaluation pour chacune des communes	90
	2: Localités et population enquêtées	91
	3: Taille moyenne des ménages	92
	4: Niveau d'instruction de la population des plus de 4 ans	93
	5: Importance des ménages migrants et période d'installation dans la localité	94
	6: Appropriation du logement	95
	7: Nombre de ménages qui utilisent de l'électricité	95
	8: Répartition des ménages selon l'importance de l'activité agricole (activités primaires)	96
	9: Importance des ménages qui cultivent et qui ne sont pas propriétaire foncier	97
	10: Cheptel moyen par ménage selon les communes	98
	11: Part des ménages sans activité d'élevage	98
	12: Matériels et équipements inventoriés	99
	13: Part des ménages équipés pour les différents types de matériels et équipements	100
	14: Nombre d'habitant par équipement pour les principaux appareils électrique	100
	15: Distribution de l'échantillon selon les communes	101
	16: Catégories de revenus des ménages	101
	17: Revenus moyens des ménages par commune et taux de pauvreté selon plusieurs critères	102
	18: Justification du caractère prioritaire de l'électrification	103
	19: Position des chefs de ménage vis-à-vis d'un raccordement au réseau	104
	20: Echantillons des deux groupes de ménages enquêtés	106
	21: Composition (%) des deux échantillons selon l'occupation principale du chef de ménage	107
	22: Comparaison des revenus moyens des deux groupes de ménages	107
	23: Niveau scolaire des chefs de ménages abonnés et non abonnés	108
	24: Compte d'exploitation de cinq opérateurs sur la filière d'approvisionnement en biomasse	110
Figures	1: Répartition des ménages et de la population selon la taille du ménage	92
	2: Répartition des ménages et de la superficie selon des classes de superficies	97
	3: Superficie moyenne par ménage selon le type de terre et par commune	97
	4: Histogramme des ménages selon le revenu par personne	102
	5: Nombre moyen d'appareils électriques par ménage avant et après l'électrification	108
	6: Evolution des dépenses énergétiques pour les ménages électrifiés selon l'activité principale du chef de ménage	109
	7	Encadrés
1: Caractéristiques techniques de la centrale thermoélectrique d'Andaingo		115
2: Spécifications techniques des matériels ERD demandés		117
3: Interview d'un opérateur d'un atelier de décorticage de paddy à Manerinerina	123	
Tableaux	1: Principales caractéristiques techniques du moteur PSI et de la chaudière BIONERR	116
	2: Constats et recommandations techniques pour le fonctionnement des équipements d'une centrale thermoélectrique à biomasse	126
	Figures	
1: Schéma général d'installation de la centrale d'Andaingo	115	
2: Les relations contractuelles de la mise en place d'une installation ERD	120	
8	Encadrés	
	1: Le système de Contrôle Forestier Décentralisé de la SEDRA Régions Anôsy	133
	2: Association 3FS	135
	3: Qu'est-ce qu'un OPC ?	136
	Tableaux	
	1: Utilisation de bois énergie dans la région Anôsy	129
	2: Interventions prévues par le PABE Fort-Dauphin par axe d'approvisionnement	130
	3: Répartition par axe de l'origine du charbon de bois approvisionnant la ville de Fort-Dauphin	131
	4: Quota annuel de production (sacs de 15 kg) pour l'approvisionnement de Fort-Dauphin	132
	5: Taux de prélèvements fiscaux selon l'origine du charbon de bois (en Ariary)	134
	6: Répartition des moyens de transport	134
	7: Recettes fiscales générées par la SEDRA pour la période du juin 2009 à septembre 2011 (en Ariary) (versements des agents de liaison)	135
	Figures	
1: Le système CFD SEDRA	133	
2: Evolution du nombre de sacs de charbon contrôlés de décembre 2008 à avril 2009	134	

Acronymes et abréviations

3FS	<i>Fikambanan ny kaominina 14 ho fanaraha-maso ny fivezivezen ny vokatra saribao</i>
ACP	Afrique Caraïbes Pacifique
AFD	Agence Française de Développement
AIMan	Alaotra Mangoro
AO	Appels d'Offres
bdf	Bois de feu
BETC	Bureau d'Etude et des Travaux de Construction (BETC Nanala)
BIOENERGELEC	Biomasse énergie pour la réduction de la pauvreté par l'électrification rurale décentralisée à Madagascar
BOOT	<i>Build Own Operate and Transfer</i>
BSEF	UR 105 « Biens et Services des Ecosystèmes Forestiers tropicaux » CIRAD
CAF	Chantiers d'aménagement forestier
CASIELEC	Conseils Améliorations Suivis des Installations ELECtriques
CAZ	Corridor Ankeniheny Zahamena
CCD	Conseil Communal de Développement
CDB	Charbon de bois
CE	Communauté Européenne
CEEF	Cantonement de L'environnement, des Eaux Et Forêts
CFC	Contrôleur forestier communal ou VNA (Vaomieran'ny Ala)
CFD	Contrôle Forestier Décentralisé
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CITE	Centre d'Information Technique et Économique
CLB	Communauté Locale de Base ou VOI (Vondron'Olona Ifotony)
COBA	COmmunautés de BAse
COGESFOR	Projet de COnservation et de GEStion des Ecosystèmes FORestiers Malagasy
CR	Commune Rurale
CT	Commerçant-transporteur
CTD	Collectivités Territoriales Décentralisées
CTFT	Centre technique forestier tropical
DAO	Dossier d'Appel d'Offre
DD	Développement Durable
DGF	Direction Générale des Forêts
DREFT / DREF	Direction Régionale de l'Environnement, des Forêts et du Tourisme / Direction Régionale de l'Environnement et des Forêts
DRFP	Département des Recherches Forestières et Piscicoles du FOFIFA
DSI	Direction du Système d'Information
DUE	Direction de l'Union Européenne
DVRF	Direction de la Valorisation des Ressources Forestières
DVRN	Direction de la Valorisation des Ressources Naturelles
ENR	Energie(s) renouvelable(s)
EPM	Enquêtes Périodiques auprès des Ménages
EPP	Ecoles Primaires Publiques
ERD	Electrification Rurale Décentralisée
ES	Département Environnements et Sociétés du CIRAD
ESSA	Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (Madagascar)
EUEI PDF	<i>European Union Energy Initiative Partnership Dialogue Facility</i>
FAO	<i>Food And Agriculture Organisation</i>
FED	Fonds Européen de Développement
FFEM	Fonds Français pour l'Environnement Mondial
FNE	Fonds National de l'Électricité
FOFIFA	<i>Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra</i> (Centre national de la recherche appliquée au développement rural à Madagascar)
GC	Gestion communautaire
GELOSE	Gestion locale sécurisée
GESFORCOM	Gestion forestière communale et communautaire
INSTAT	Institut National de la Statistique malgache
JIRAMA	<i>Jlro sy Rano Malagasy</i>
Kasti	<i>Komitin'ny Ala Sy ny Tontolo Iainana</i> (Comité des forêts et de l'environnement)

kTEP	KiloTonne équivalent pétrole
kW	Kilowatt
kWe	Kilowatt électrique
kWh	Kilowatt heure
kWhe	Kilowatt heure électrique
MAP	Madagascar Action Plan
MEF	Ministère de l'Environnement et des Forêts
MEM	Ministère de l'Énergie et des Mines
NAP	Nouvelles Aires Protégées de Madagascar
NPE	Nouvelle Politique Énergétique (Madagascar)
NPF	Nouvelle Politique Forestière (Madagascar)
ODM	Objectifs de Développement du Millénaire
ONE	Office National de L'environnement
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OPCI	Organisme Public de Coopération Intercommunale
PABE-FD	Plan d'Approvisionnement en Bois-Energie de Fort-Dauphin
PAGS	Plan d'Aménagement et de Gestion Simplifié
PARTAGE	Participation à la Gestion de l'Environnement
PAS	Plan d'aménagement simplifié
PCD	Plan communal de développement
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PED	Pays en développement
PIP	Programme d'Investissements Publics
PME	Petites et moyennes entreprises
PMI	Petites et moyennes industries
PPP	<i>Purchasing Power Parities</i>
PRAG	Guide pratique des procédures contractuelles dans le cadre des actions extérieures
PRD	Plans régionaux de développement
PSG	Plan simple de gestion
R & D	Recherche et développement
RI	Réseaux Interconnectés
RIP	Route interprovinciale
RN	Route nationale
RNR	Ressources naturelles renouvelables
SAC	Schémas d'Aménagements Communaux
SCAB	Schémas communaux d'approvisionnement en biomasse
SE4ALL	<i>Sustainable Energy for all</i>
SED	Stratégie énergie domestique
SEDRA	Stratégie énergie domestique de la Région Anôsy
SERMAD	Société d'Electrification Rurale de Madagascar
SFF	Station forestière de Fanjahira
SMDD	Sommet mondial sur le développement durable
SOLIMA	<i>Solitary Malagasy</i>
TAC	Technique améliorée de carbonisation
TCR	Taillis à courte rotation
TGRNR	Transfert de gestion des ressources naturelles renouvelables
tMF	Tonne de matières fraîches
tMS	Tonnes de matière sèche
UE	Union Européenne
US	<i>United States</i>
USAID	<i>United States Agency for International Development</i> (Agence des Etats Unis pour le Développement International)
VNA	<i>Vaomieran ny Ala</i> (Commission locale des forêts)
VOI	<i>Vondron'Olona Ifotony</i> (Communauté locale de base ou CLB)
WWF	<i>World Wildlife Fund</i> (Fonds mondial pour la nature)
ZUC	Zone d'utilisation contrôlée
ZUD	Zone d'utilisation durable

Glossaire

Ar	Ariary (monnaie locale à Madagascar)
Ala Maiky	Forêts sèches
Baiboho	Terre fertile de décrue
Fokontany	Plus petit démembrement administratif à Madagascar
kW	Kilowatt : 1000 W
Wh	énergie correspondante à 1 Watt délivré durant 1 heure
kWh	Kilowatt heure, énergie correspondante à 1000 Wh
Kitay	Bois de feu
Ramose Saribao	Formateur – paysan en carbonisation
Tanety	Colline
Tangalamena	Chef coutumier
Tavy	Culture sur brûlis
TANTEZA	<i>Tantanana mba hateza</i> (Gestion durable)
Watt (W)	Unité de puissance = 1 Joule / seconde

Préface



La lettre de Politique du secteur de l'Energie pour la période 2015 à 2030, adoptée récemment par le Gouvernement de Madagascar, recommande une combinaison d'approche technologique basée sur les principes du moindre coût et de la neutralité technologique, pour atteindre les objectifs fixés par le Plan National de Développement.

La biomasse est la ressource primaire utilisée par les 80% de la population malgache pour le besoin de la cuisson et chauffage et nous sommes tous conscients de la menace du changement climatique très importante qui en résulte.

Depuis des siècles, le niveau de pénétration du système biomasse est encore quasi nul pour la production d'électricité à Madagascar. C'est pour cette raison qu'il n'est pas trop tard d'exploiter ces ressources de biomasse, notamment

agricole à partir de la balle de riz, de la canne à sucre ainsi que des déchets de bois pour alimenter des centrales de production d'électricité dans certaines zones rurales où ces ressources sont disponibles en quantité suffisante localement.

Ainsi, la planification de l'électrification rurale au niveau régional a placé la filière biomasse en deuxième place juste après la filière hydroélectrique. Nombreux sont les projets biomasses identifiés dans les régions Boeny, Sofia, Sava, Alaotra Mangoro, Itasy, Bongolava, Atsimo Andrefana et Anosy.

Les 4 types de projets, à titre pilote, réalisés à Anjiajia et Manerinerina dans les régions de Boeny, à Andaingo et Didy dans la Région d'Alaotra Mangoro, vont nous servir d'expériences pour ces projets d'électrification décentralisée identifiés dans les Plans Directeurs Régionaux basés sur les énergies renouvelables.

La question sur l'efficacité énergétique sera mise en exergue dans ces projets afin de réduire les pertes techniques et non techniques de la filière qui nuisent l'environnement.

Cette approche contribuera également à la réduction de la déforestation et de dégradation des forêts naturelles, de réduire le coût d'exploitation et l'importation des hydrocarbures.

Pour conclure, la Transition énergétique a un coût et comme disent les femmes, « *pour être belle ; il faut souffrir* ». Aussi, la contribution de tous les acteurs est vivement sollicitée pour donner un nouveau souffle dans le secteur de l'énergie.



Mamisoa RAKOTOARIMANANA

Secrétaire Exécutif

Agence de Développement de l'Électrification Rurale

Le projet BIOENERGELEC

Objectifs et actions développées dans les cinq sites d'intervention

Pierre MONTAGNE

Introduction

Plus de 70% des populations rurales malgaches vivent dans des conditions d'isolement liées à l'absence de voies de communication et à une topographie difficile. Le raccordement de ces populations au réseau électrique national géré par la société JIRAMA semble irréaliste avant longtemps. Ce constat a été la motivation principale de la proposition faite par le CIRAD et ses partenaires FOFIFA, PARTAGE et ADER dans le cadre de l'appel à proposition Facilité Energie 1 de l'Union Européenne.

Il s'agissait de développer l'accès à l'électricité des populations rurales de six communes de quatre régions de Madagascar par la valorisation de la biomasse énergie, pour réduire la pauvreté et améliorer les conditions de vie de ces populations. Dans un contexte où la décentralisation de l'État aboutit à laisser les collectivités territoriales décentralisées sans moyens financiers, les interventions de la proposition seront développées en partant du principe que :

- Madagascar dispose d'un important stock en biomasse ligneuse (plantations forestières ou forêts naturelles) dont l'utilisation comme combustible pour la production d'électricité par la mise en place de réseaux d'électrification rurale décentralisée (ERD) est possible ;
- L'électrification rurale décentralisée fondée sur la biomasse et en particulier sur le bois permet, outre un effet en termes de réduction de la pauvreté commun aux différents systèmes d'ERD, le développement d'une filière locale et d'une activité permanente pour assurer la gestion durable, l'exploitation et le transport de la biomasse jusqu'au site de production de l'électricité ;
- La conversion énergétique de la biomasse locale permet d'obtenir une électricité à un coût très compétitif comparativement aux autres sources d'énergie renouvelables et bien sûr fossiles.

Les activités qui ont été développées depuis 2009 ont permis à fin 2015, d'installer deux unités de production d'ERD dans les communes de Manerinerina (région Boeny) et Didy (région Alaotra-Mangoro). Au début de l'année 2015, il existait encore une petite chance pour que les communes de Befeta et Mahaditra soient équipées avant le terme du projet. Cela n'a pas été possible malgré les assurances données au projet en novembre 2014 par le fournisseur contractualisé par l'ADER.

La centrale d'Ifarantsa (région Anosy) avait été abandonnée pour des questions d'approvisionnement en biomasse suite à la déforestation massive de la forêt de la Fanjahira. Mais cette modification n'a pas été formalisée par un avenant au « contrat ADER - fournisseur » pour des raisons d'interprétation du contrat. Le fournisseur souhaitait un contrat de même montant avec quatre sites à équiper au lieu de cinq alors que l'ADER considérait que le montant devait être réduit. Aucun consensus n'a pu être trouvé.

Cet ouvrage présente, au travers de 9 articles de synthèse et d'analyse des principaux résultats obtenus, l'intérêt, malgré les difficultés rencontrées (*i*) sur le plan politique avec la crise qu'a subi Madagascar tout au long du déroulement du projet, avec des conséquences en particulier sur la gouvernance de l'ADER, (*ii*) sur le plan technique lié à l'apprentissage du fonctionnement d'installations nouvelles d'ERD et (*iii*) sur le plan financier lié aux difficultés de l'attributaire du marché de fourniture des équipements, à débloquer les fonds mis à disposition par l'ADER dans le cadre de son cofinancement.

Fin 2015, les deux installations de Manerinerina et de Didy n'auront pu l'être que grâce à la mobilisation des fonds Union Européenne gérés par le CIRAD qui aura mis en place, à la demande de l'ADER, près de 95 % de la subvention prévue.

Présentation des articles de l'ouvrage HAZAVANA

Pierre MONTAGNE

Cet ouvrage rassemble 9 articles¹ qui présentent les résultats obtenus par le projet BIOENERGELEC au cours de la période 2009 à 2015. Une trentaine d'auteurs ont contribué, sur la base de leurs expériences au sein du projet mais aussi en dehors, à la présentation des résultats obtenus.

Le **premier article** de Laurent Gazull et Hary Andriantavy présente les différentes solutions qui existent à Madagascar pour la production d'Electrification Rurale Décentralisée par les différentes énergies renouvelables existantes, et l'importance de choisir, compte tenu des contextes communaux, les meilleures solutions technologiques.

Le **deuxième article** d'Alexandre Silveira, Patrick Rousset et Philippe Girard présente l'historique de la conception et de la mise au point du moteur à vapeur par la société brésilienne PSI Thermo Metalurgica : pourquoi ? Comment ? Résultats et leçons à tirer.

Le **troisième article** d'Alain Bertrand, Gilles Chaix, François Pinta, Honoré Randrianjafy, Alain Rasamindisa, Norbert Razafindrianilana, Daniel Andriambolanoro et Pierre Montagne présente les étapes des diagnostics effectués pour arrêter le choix des communes cibles selon le contexte socio-économique, les conditions d'approvisionnement en eau, en biomasses ligneuse et non ligneuse.

Le **quatrième article** de Pierre Lepinay, Régis Peltier, Norbert Razafindrianilana, Daniel Andriambolanoro, Roger Rafanomezantsoa présente les travaux d'évaluation de la biomasse bois de *Ziziphus* dans la commune rurale de Manerinerina et la détermination des modalités d'aménagement sylvicole dans un contexte de concurrence entre production de charbon de bois pour la ville de Mahajanga et de bois de feu pour la centrale thermoélectrique.

¹ Un dixième article, intitulé « Bilan économique et financier comparé des installations ERD biomasse et autres ENR » n'aura pas pu être achevé dans les temps disponibles pour l'édition de cet ouvrage. Son contenu devait permettre, à partir des relevés de fonctionnement des centrales d'Andaingo et surtout de Manerinerina en termes de consommation en poids de biomasse et d'eau pour une production donnée d'électricité, de faire une comparaison sur les coûts de production du kWh ERD produite avec les centrales à vapeur par rapport à une même production de groupe électrogène. En relation avec les gestionnaires BETC, CASIELEC et SERMAD, nous continuerons à faire le suivi de ce fonctionnement grâce aux fiches de relevés techniques auxquelles sont tenus ces gestionnaires pour tirer encore plus d'enseignements de ces expériences.

Le **cinquième article** de Gilles Chaix, Honoré Randrianjafy, Daniel Andriambolanoro, Tiana Herimiasa et Tsila Rakotomalala évalue la disponibilité en biomasse bois d'*Eucalyptus* dans les communes de Didy, Mahaditra et Befeta et arrête les possibilités pour un aménagement durable de ces formations pour l'approvisionnement en bois de feu des centrales thermoélectriques.

Le **sixième article** de Jean-François Béliers, Daniel Andriambolanoro, Landy Holy Harifera Andriamialiranto et Andoniaina Andriamifidy présente la situation de référence et éléments d'évaluation des effets de l'électrification rurale décentralisée biomasse vapeur.

Le **septième article** de François Pinta, Daniel Andriambolanoro et Pierre Montagne, présente un retour d'expérience du projet sur le volet d'acquisition et de mise en œuvre de la technologie ERD biomasse vapeur, dans les communes rurales d'Andaingo, de Didy et de Manerinerina. Il aborde le déroulement du travail de « gestion de projet » relatif à l'acquisition des équipements des centrales, ainsi que les aspects techniques, organisationnels, socio-économiques et culturels de la mise en œuvre des centrales biomasses. Il vise ainsi à capitaliser l'expérience acquise dans la perspective du développement des solutions d'ERD par centrales biomasse-vapeur à Madagascar et dans d'autres pays africains.

Le **huitième article** de Serge Razafimahatratra, Ndriana Razafindratovo, Zo Ratsisetraina présente les résultats obtenus dans la région Anosy par la mise en œuvre de la Stratégie Energie Domestique, notamment au travers de l'utilisation de l'outil règlementaire OPCI.

Le **neuvième article** de Pierre Montagne et Mamisoa Rakotoarimanana et Hary Andriantavy synthétise les principales recommandations à tirer de ce projet pour l'électrification rurale des communes de Madagascar.

Atouts et contraintes de l'électrification rurale décentralisée à partir de biomasse à Madagascar

Laurent GAZULL,
Hary ANDRIATAVY

Un contexte favorable au développement des centrales électriques à biomasse

UN CADRE LÉGISLATIF ET INSTITUTIONNEL FAVORABLE

La politique énergétique malgache

À l'instar de nombreux pays en voie de développement, l'accès à l'énergie à Madagascar constitue un défi majeur pour favoriser le développement économique et social de l'île. La consommation annuelle du pays en énergie primaire serait d'environ 4 800 kTEP, dont 83 % sont issus du bois-énergie, 1,5 % de la bagasse, 14,5 % issus du pétrole et 1 % issus de l'hydro-électricité.

En matière de développement du secteur de l'énergie, durant ces 15 dernières années les actions du gouvernement malgache ont porté essentiellement sur les trois points suivants :

- l'augmentation de l'accès de la population à l'électricité par une politique centrée sur la participation des communautés bénéficiaires et du secteur privé et sur le développement des sources d'énergies renouvelables.
- l'amélioration de l'exploitation, la transformation, l'utilisation et le commerce du bois énergie.
- la refonte du cadre légal et réglementaire régissant le secteur énergie.

Cette refonte a commencé par la privatisation du secteur de l'énergie : électricité et hydrocarbures. Dans le sous-secteur des hydrocarbures, la SOLIMA (Solitary Malagasy) a été privatisée en 2003 et de nombreuses stations d'essence privées se sont établies à Madagascar. Les importations ont été également libéralisées. La production et la distribution de l'électricité ont également été libéralisées en 2003. Les opérateurs privés, sans discrimination, sont aujourd'hui en droit d'obtenir une concession¹ (pour des installations de forte puissance) ou une autorisation (pour des installations de faible puissance) pour produire et distribuer de l'électricité. Les prix de la distribution sont soumis à la régulation de l'Office de Régulation de l'Electricité.

¹ Suivant la puissance installée (< 500 kW pour les centrales thermiques – les centrales utilisant les autres énergies renouvelables sont assimilables aux centrales thermiques, et < 150 kW pour les centrales hydroélectriques) la dénomination devient « autorisation » toutefois, le principe reste le même il s'agit d'une concession.

En 2015, avec l'appui de l'EUEI PDF², le Gouvernement de Madagascar est en train de mettre en place une nouvelle « Lettre de Politique Énergétique » (NPE). Celle-ci fixe un objectif ambitieux qui est l'accès de tous à l'énergie moderne en 2030. La vision et les fondements de la NPE s'articulent autour :

- du principe de moindre coût,
- des cinq objectifs qualitatifs qui sont : améliorer l'accès à l'énergie moderne, rendre l'énergie abordable, augmenter la qualité des produits et des services énergétiques, la sécurité énergétique et la durabilité,
- et des cibles quantitatives indicatives représentées dans trois options de scénarios énergétiques.

À ce stade, le Gouvernement n'a pas encore fixé son choix sur les 3 scénarii proposés mais le scénario « SE4All » (Sustainable Energy for All - Énergie Durable pour Tous) semble être l'orientation privilégiée.

La stratégie proposée dans la NPE reste cependant très sommaire et ne remet pas en cause les orientations passées. Elle offre néanmoins un cadre solide de mise en œuvre des actions gouvernementales et vise à renforcer la gouvernance du secteur.

La stratégie d'électrification rurale décentralisée

Dans le cadre cette politique d'accès à l'énergie pour tous (SE4All) l'accès à l'électricité est un défi majeur pour le gouvernement. La stratégie de développement de la production et de l'accès à l'électricité mise en place au début des années 2000 repose sur trois grands programmes :

- la création de nouvelles centrales hydroélectriques de forte puissance pour alimenter les réseaux urbains (Production Privée d'électricité - IPPs) ;
- la mise en place en 2001 de l'Agence pour le Développement de l'Électrification Rurale (ADER) dont le rôle principal est d'assister de nouveaux opérateurs privés et d'attribuer les subventions du Fond National de l'Énergie (FNE) aux projets privés d'électrification rurale (sur le modèle de la mise en concession initié par la Banque Mondiale en Afrique de l'Ouest) ;
- le lancement en 2003 du programme d'électrification rurale avec l'appui du FNE et de l'ADER : le projet est d'électrifier environ 150 villages par an à partir de groupes thermiques à diesel d'une puissance de 40 à 100 kW.

Au début des années 2000 le taux d'accès était très faible (moins de 5 %) et une planification était nécessaire pour relever le défi qui était de doubler ce taux en 5 ans. En 2000, un schéma directeur national pour l'électrification³ de 1500 localités rurales sur les 10 000 recensées par les autorités a été mis en place. Ce plan était essentiellement basé sur des techniques d'électrification classiques : extension du réseau, électrification décentralisée avec microréseau à base de groupe thermique diesel, mais il prévoyait également une production d'origine renouvelable : principalement la pico et la micro-hydroélectricité. Le solaire photovoltaïque était réservé pour la pré-électrification des centres communautaires (école, dispensaire, bureau de commune...).

Les résultats escomptés à partir de ce schéma directeur n'ont pas été concluants dans la mesure où la crise politique de 2002 a anéanti les efforts réalisés par toutes les parties. En effet, d'une part la structure prévue pour la mise en œuvre du plan n'a pas été mise en place et les moyens financiers pour sa réalisation n'ont pas été totalement réunis. Malgré tout, le gouvernement malagasy a poursuivi la réflexion et a confié en juillet 2004 à l'ADER la conduite des projets d'électrification rurale de la planification jusqu'à la réalisation avec le secteur privé. Les textes réglementaires⁴ issus de la réforme sectorielle du début des années 2000 prévoient la libéralisation du secteur électrique notamment pour les segments de la production et de la distribution. Moyennant un permis⁵ (licence qui s'octroie d'une manière générale par une procédure de mise en concurrence), un opérateur privé a la faculté de produire, distribuer et vendre l'électricité dans une ou plusieurs localités. D'une manière générale, il s'agit d'une concession du type BOOT (*Build Own Operate and Transfer*).

2 Initiative de l'UE pour l'énergie – Facilité de dialogue et de partenariat - www.euei-pdf.org

3 La Banque mondiale a financé, à travers le Programme de Développement du Secteur Énergie - ENERGIE II crédit 2844-MAG, l'élaboration du Programme d'Électrification (PROGELEC) en 1999-2000.

4 Loi 98-032 du 20 janvier 1999 portant réforme du secteur de l'électricité et ses textes subséquents.

5 Deux types de permis sont prévus par les législateurs : autorisation pour les centrales thermiques < 500 kW et hydroélectrique < 150 kW et concession pour les centrales au-delà de ces limites.

En 2010, ayant constaté que les projets d'électrification rurale ne décollaient (toujours) pas et que le taux d'accès restait toujours faible (inférieur à 5%), un nouveau plan d'électrification à l'échelle régionale a été préparé. Il a été conçu comme un prolongement du plan d'extension du réseau de la JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy). L'Office de Régulation de l'Electricité a été créé, entre autre, pour veiller à la préparation de ce document. Celui-ci, toujours en vigueur actuellement, tient compte cette fois-ci des spécificités locales et notamment des sources d'énergies localement disponibles telles que le vent, l'eau, le soleil et la biomasse. Ces énergies renouvelables constituent une des bases de cette nouvelle planification régionale.

Madagascar compte 1693 communes rurales⁶ qui regroupent environ 18 251 fokontany, subdivision administrative de base composée des hameaux, des villages, des secteurs ou des quartiers. Actuellement, seulement 15% des communes disposent d'une infrastructure électrique, et ces dernières sont essentiellement celles situées à proximité des réseaux interconnectés (RI)⁷. Mais le tissu urbain est très dispersé sur le territoire et connecter l'ensemble des communes serait une entreprise très coûteuse. Priorité a donc été donnée à l'approche « électrification décentralisée avec un micro-réseau ».

Dans ce nouveau cadre, les communes disposent d'une plus grande liberté de choix et d'autonomie de leurs infrastructures et de leurs sources d'approvisionnement énergétique. Le gouvernement fait le pari que le recours aux énergies renouvelables « de proximité » devrait améliorer le taux d'accès à l'électricité à Madagascar.

DES RESSOURCES EN BIOMASSE A PRIORI ABONDANTES

Madagascar bénéficie d'atouts certains pour la production de biomasse à des fins énergétiques : diversité des climats et des cultures, ressources foncières a priori abondantes, ressources hydriques importantes, etc.

Dans le contexte malgache, trois grands types de biomasses sont potentiellement valorisables en électricité : la biomasse forestière ; les résidus de scierie ; les résidus agricoles primaires et secondaires ;

La biomasse forestière

La biomasse forestière peut provenir soit des forêts naturelles gérées durablement, soit de plantations forestières à but énergétique.

Les enjeux de développement de la filière bois-énergie sont considérables. Tous les diagnostics convergent : la capacité de production actuelle des forêts naturelles et des plantations ne permettrait pas d'assurer, à moyen et long terme, la satisfaction des besoins des populations. Le développement d'une filière bois-énergie pour la production d'électricité passe nécessairement, non seulement par une gestion durable des ressources forestières actuelles, mais également par de nouvelles plantations. Actuellement, les surfaces des peuplements artificiels sont très mal connues. Elles sont estimées à environ 300 000 ha par l'IEFN, dont 50% de pins et 50% d'*Eucalyptus*. Mais du fait de leur petite taille, nombre de ces peuplements n'ont pu être identifiés et la surface pourrait être pratiquement le double des chiffres annoncés. Le bois-énergie issu de plantations durables est considéré par le Ministère de l'Energie et le Ministère de l'Environnement comme une énergie alternative majeure. Cependant seule son utilisation en tant qu'énergie domestique semble être réellement prise en compte dans les politiques énergétique actuelles. Les initiatives d'utilisation de cette ressource pour la production électrique rurale restent, à ce jour, marginales. Pourtant les potentialités sont bien réelles. Les conditions pédoclimatiques sont réunies sur l'île, les surfaces appropriées sont également considérables, le savoir-faire en matière de plantation existe de longue date, le marché du bois-énergie (bois comme charbon) est un véritable marché solvable, et la plantation est une activité rentable.

Les résidus agricoles

Les résidus primaires de culture sont importants comme en atteste le tableau 1. Cependant, beaucoup sont utilisés pour une grande part voire en totalité pour l'alimentation animale ou la fertilisation : paille de riz, tiges et feuilles de maïs, coque et déchets de coton. Ces derniers sont ainsi à exclure de la liste des

6 Décret n°2015-817 du 06 mai 2015 modifiant l'annexe n°02 du Décret n°2015-592 du 01er avril 2015 portant classement des Communes en Communes urbaines ou en Communes rurales

7 Madagascar dispose de 3 réseaux interconnectés : RI Tana, RI Toamasina et RI Fianarantsoa

résidus pouvant être considérés comme source d'énergie. Leur utilisation pour la production énergétique mettrait en danger la fertilisation des sols et les systèmes de gestion du bétail.

Les ressources agricoles les plus facilement utilisables sont les résidus secondaires issus de processus de transformation : balles de riz et coques diverses. Leur production est concentrée et ils sont généralement peu utilisés pour l'alimentation animale ou la fertilisation. Ils peuvent être valorisés pour la production de chaleur domestique, de chaleur artisanale ou pour l'électrification.

Parmi l'ensemble des ressources disponibles, seuls les balles de riz et dans une moindre mesure les pailles de maïs sont des ressources réellement envisageables. Cependant les premières sont dans certaines régions largement utilisées pour la fabrication des briques et les secondes peuvent présenter des coûts et difficultés de collecte importants dans les régions où la ressource est dispersée.

Tableau 1 : La disponibilité en résidus agricoles pour la production électrique décentralisée

	Estimations (en tonnes)	Utilisation actuelle	Potentiel
Production rizicole			
Paille de riz	5 000 000	Alimentation du bétail Matériau pour la construction des cases, Une fois incinérée, comme fertilisation minérale, Combustible d'appoint	Faible : priorité à l'alimentation animale et à la fertilisation minérale
Balle de riz	680 000	Combustibles d'appoint pour chaudière (cuisson des briques) Conservation des glaces alimentaires Calcination pour fumure minérale	Bon : combustible potentiel mais forte teneur en silice
Production de maïs			
Raffles	50 000	Alimentation du bétail Calcination pour fumure minérale	Moyen : car utilisation pour l'alimentation animale et la fertilisation minérale
Tiges et feuilles	250 000	Combustible d'appoint	
Production d'arachide			
Fanes d'arachide	40 000	Alimentation du bétail Engrais vert Incinération pour fumure minérale	Faible : priorité à l'alimentation animale et à la fertilisation minérale
Coques	13 200	Combustible d'appoint Calcination pour fumure minérale	
Production de coton			
Tiges	32 000	Engrais vert Alimentation animale Calcination pour fumure minérale Combustible d'appoint	Faible : priorité à l'alimentation animale et à la fertilisation minérale
Coques et autres déchets	2 200	Combustible pour chaudière Alimentation du bétail	
Production de noix de cajou			
Débris de coque	n.e.	Prélèvement des parties compostées pour fertilisation	
Production de cocotiers			
Bourres et coques	n.e.	Combustible, notamment pour le fumage des poissons (Karapapaka) Calcination pour fumure minérale Compostage	

Source : Burnod et al., 2009

Les résidus des scieries et des charbonnières

Les déchets de scierie, constitués de copeaux de bois et de sciure s'élèvent entre 40 à 70 % du bois brut équarri. Les déchets de carbonisation proviennent du conditionnement du charbon en forêt, et des différentes manipulations des sacs lors du transport et de la commercialisation en ville. 10 % à 15 %

du charbon produit est réduit en fines et braisettes non commercialisables. Il n'existe actuellement pas d'estimation fiable de ces résidus et il est difficile d'apprécier leur participation potentielle dans de nouvelles filières énergétiques. Il semblerait qu'elle soit faible car ces résidus sont en grande partie déjà utilisés comme énergie domestique ou comme matériau de construction.

DES COÛTS DE PRODUCTION EN THÉORIE PLUS FAIBLES

À ce jour deux grands types de technologies « biomasse » sont opérationnelles ou en phase de test :

- Les centrales à biomasse à cycle vapeur associant une chaudière et un moteur vapeur
- Les centrales électriques à biomasse à gazéificateur couplé à un moteur *dual fuel*.

Dans les centrales à biomasse - cycle vapeur, la biomasse est brûlée dans une chaudière. Une partie de la chaleur produite est utilisée pour produire de la vapeur dont une proportion sert à activer un moteur pour produire de l'électricité et le reste est destiné à d'autres usages comme le séchage des produits locaux. Ainsi, ces centrales sont aussi appelées « cogénérateurs ».

Dans les centrales à biomasse - gazéification, la biomasse solide est également brûlée, puis transformée en un gaz combustible appelé « gaz de synthèse ». Le gaz est ensuite injecté dans un moteur, souvent un *dual fuel*, qui via un générateur produit de l'électricité. Deux types de technologies sont actuellement utilisés à Madagascar : l'une est indienne, l'autre chinoise.

Comme le montrent les graphiques ci-dessous, issus des calculs de l'ADER, ces trois technologies permettent de produire une électricité à des coûts bien inférieurs aux autres technologies disponibles à Madagascar, en particulier les groupes électrogènes fonctionnant au gasoil. Néanmoins, les coûts d'investissement sont 2 à 3 fois plus chers.

Les précédentes technologies (gazéification et cogénération) ont l'avantage de pouvoir être installées au cœur ou en périphérie des villages. Les centrales hydroélectriques, en revanche, sont construites là où la nature a décidé de fournir de l'énergie. Le plus souvent, le site est éloigné du centre de consommation – les localités rurales malagasy se trouvent souvent retirées par rapport aux cours d'eau. Il faut développer une infrastructure de transport de l'énergie grâce à un réseau électrique moyenne tension qui génère un coût d'investissement supplémentaire, et au final un coût de production supérieur aux technologies biomasse.

Figure 1 : Coût de production prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kWh) en comparaison des autres technologies disponibles.

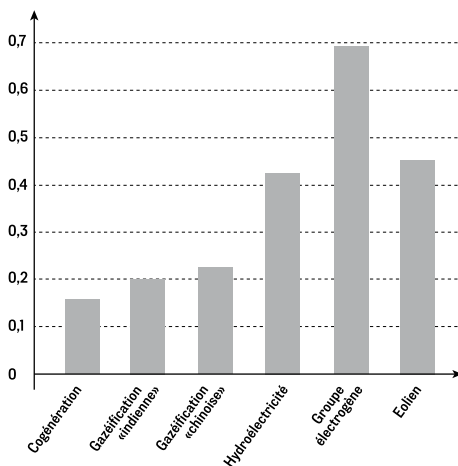
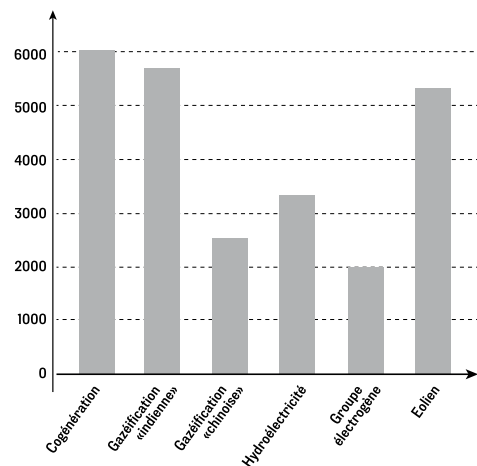


Figure 2 : Coût d'investissement prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kW installé HT) en comparaison des autres technologies disponibles.



Une expérience naissante

HISTORIQUE DES INSTALLATIONS

En 2015, le nombre d'unités installées est encore faible : 4 centrales ERD publiques à gazéificateur, 1 centrale ERD chaudière à vapeur, 2 centrales industrielles à gazéificateurs.

Tableau 2 : Les caractéristiques principales des sites installés

Unité	Technologie	Etat 2013	Localité	Région
Centrale électrique ERD de Bejofo (opérateur BE2)	Gazéificateur + moteur dual mode	Hors service	Bejofo	Alaotra-Mangoro
Centrale électrique ERD d'Ambatondrazaka (opérateur BE2)	Gazéificateur + moteur dual mode	Hors service	Ambatondrazaka	Alaotra-Mangoro
Centrale électrique ERD de Boriziny	Gazéificateur + moteur 100 % gaz	Hors service	Port-Berger	Sofia
Centrale électrique ERD d'Anjajia (opérateur CASIELEC)	Gazéificateur + moteur dual mode	En service	Anjajia	Boeny
Centrale électrique d'Andaingo (opérateur BETC)	Chaudière + moteur vapeur	En service	Andaingo	Alaotra-Mangoro
Unité industrielle de BIONEXX	Gazéificateur + chaudière	En service	Fianarantsoa	Haute Matsiatra
Unité industrielle de Le Relais Madagascar	Gazéificateur + moteur dual mode	En service	Isorana	Haute Matsiatra

LES FORCES DES INSTALLATIONS ERD À BIOMASSE ACTUELLES

Des alternatives à la dépendance aux énergies fossiles

À Madagascar, pour l'heure l'électrification rurale à partir de la biomasse constitue un secteur en phase de démarrage. Bien que l'utilisation des énergies fossiles, en l'occurrence le diesel, domine encore largement – de l'ordre de 68 % selon l'ADER en 2012 (WWF, 2012) – le parc de production d'électricité en milieu rural, les installations ERD à biomasse commencent à émerger. Si en 2012, seuls deux opérateurs se sont lancés dans l'exploitation de centrales thermiques à biomasse parmi les 27 opérateurs privés opérant dans le secteur de l'électrification rurale, trois autres installations ERD à biomasse sont actuellement en cours d'installation dans les régions Boeny et Alaotra Mangoro. La valorisation des ressources renouvelables permet de : (1) substituer jusqu'à 62 % les besoins en gasoil d'une centrale thermique utilisant un gazogène en mode *dual fuel*, et (2) d'économiser plus de 10 000 litres de gasoil par an dans le cas d'une centrale à vapeur.

Le développement de chaînes de valeur locales

Au-delà de la production d'électricité qui constitue un facteur de développement en aval, l'installation d'une centrale à biomasse suppose la mise en place de filières d'approvisionnement en biomasse bois, déchets ou balle de riz, qui sont sources de richesse en amont. Ce double facteur de richesse est propre à l'ERD biomasse et n'existe pas pour les systèmes hydrauliques, éoliens ou solaires (GESFORCOM, 2012).

À cet égard les centrales à vapeur sont certainement sources de développement amont plus important que les gazogènes. Dans les sites visités, l'approvisionnement en bois nécessite une contractualisation avec des exploitants forestiers parce que le combustible bois est acheté et non pas fourni gratuitement. Pour la balle de riz, les opérateurs n'ont pas encore su réellement développer de chaîne d'approvisionnement. Ils s'approvisionnent de préférence gratuitement et sans contractualisation auprès des dépailliers. Cette absence de normalisation se traduit par une forte instabilité avec parfois des ruptures en cours d'année.

Une durée de vie souple

Théoriquement, les installations ERD à biomasse que ce soit un gazogène ou une chaudière à bois durent de 10 à 20 ans pour un fonctionnement normal. Bien que le gazogène s'exploite pendant une période de 10 ans, son utilisation reste flexible comparée à une centrale thermique en centre rural africain dont la durée de vie varie de 5 à 8 ans (Saclier, 2000). Cependant, cette étude montre que faute de formation sur ce type d'installation et de pièces de rechange disponibles, la durée de vie des installations peut être considérablement diminuée.

Des combustibles à moindre coût

Les avantages de l'utilisation de combustibles renouvelables tels que la biomasse résident dans le fait que leur coût est minime : de l'ordre de 7 à 50 Ar/kWh (gazogène avec moteur *dual fuel*) et de 91 Ar/kWh (chaudière à bois avec moteur à vapeur) selon nos études de cas, contre 369 Ar/kWh à 499 Ar/kWh pour le gasoil (gazogène dual fuel). Ces coûts minimes sont en partie liés à la disponibilité de la biomasse dans un rayon d'approvisionnement raisonnable. À contrario, les coûts de transport du gasoil en zone rurale, peuvent représenter jusqu'à 19% du coût d'achat du combustible.

Des coûts de revient théoriques du kWh moins chers que ceux des générateurs diesel

Selon les études menées au niveau des sites ERD à biomasse, le coût de revient prévisionnel du kWh, dans les conditions actuelles de fonctionnement des centrales serait de l'ordre de 800 Ar/kWh pour les gazogènes tandis qu'il serait de 1200 Ar/kWh pour la chaudière/moteur à vapeur. En comparaison, le coût de revient de l'énergie au kWh d'une centrale thermique diesel en zones rurales s'élève à 0,65 \$ à 0,85 \$ soit dans les 1495 et 1955 Ar (ADER, ORE, 2012 in WWF, 2012).

LES VERROUS ET PROBLÈMES ACTUELS

D'une manière générale l'analyse de l'existant montre des solutions encore fragiles et des technologies peu maîtrisées que ce soit dans le domaine de l'ERD ou dans le milieu industriel. Il apparaît clairement que l'installation et le fonctionnement de ces systèmes se heurtent à de réels verrous.

Un coût d'investissement élevé

Une des faiblesses des installations ayant recours aux énergies renouvelables est l'importance du coût d'investissement. Selon nos calculs, les coûts d'investissement s'élèvent environ à 1000 Euros/Kw installé pour un gazogène et 2000 Euros/kw pour la centrale vapeur. De plus, les équipements et matériels liés aux installations ERD à biomasse ne sont pas produits localement, mais sont importés en totalité. Ces coûts sont 2 à 3 fois supérieurs que ceux d'une centrale thermique diesel (entre 500 et 800 Euros/kw).

Les petits opérateurs locaux ayant peu de capacité d'investissement, l'installation de telles centrales nécessite systématiquement une aide publique. L'Agence de Développement de l'Électrification Rurale a subventionné à plus de 70% les installations visitées, mais tout blocage de ces fonds représente un verrou majeur au développement de ces solutions, ce qui fut le cas entre 2009 et 2013. Par ailleurs la faible capacité d'investissement des opérateurs privés d'électricité freine considérablement les possibilités d'expansion des réseaux de distribution existants et rend ainsi les solutions non viables le long terme en raison d'une demande finale ne pouvant être satisfaite comme à Anjajia.

Des technologies encore non maîtrisées localement

Les technologies utilisées étant importées, les fabricants choisis (Ankur Scientific, Chongqing Fengyu Electric Equipment Co. Ltd, PSI) n'ont pas de représentants locaux et il est impossible pour les opérateurs de s'approvisionner en pièces détachées. Les exploitants s'adaptent et utilisent des pièces fabriquées localement et à des réparations peu fiables remettant en cause le rendement et la durée de vie des matériels.

Dans la conduite des installations à gazéificateur, le problème majeur est l'instabilité dans la qualité et la quantité des gaz produits. Le gazogène de Bejofo a explosé du fait d'une absence de maîtrise de la combustion et des gaz produits, le moteur à gaz de l'installation d'Anjajia a cassé pour des raisons similaires et n'a pu être réparé. Celui de Fianarantsoa a été abandonné car l'instabilité dans la qualité du gaz ne permettait pas d'assurer une production régulière de vapeur pour l'unité industrielle.

Dans la conduite de la centrale vapeur, il apparaît que d'une part le moteur à vapeur actuel souffre de faiblesses matérielles patentes (piston, coussinets, etc.) et d'autre part qu'un tel système de cogénération (chaleur industrielle pour une scierie + électricité) nécessite une maîtrise technique que n'a pas encore l'opérateur.

Une inadéquation entre le service et la demande des consommateurs

La distribution d'électricité est marquée par le manque d'adéquation entre le service attendu par les consommateurs et le service pouvant être fourni par la technologie. Les cahiers des charges en termes de prix de vente, de durée et d'horaire de fourniture n'ont pratiquement jamais été respectés quelles que soient les installations. Les tensions entre opérateurs et consommateurs sont fortes ce qui n'incite pas les nouveaux abonnés et en particulier les artisans; la production annuelle actuelle représente en moyenne 20 % des prévisions.

Des ressources en pratique peu disponibles

Tous les gazogènes en service sont alimentés par un combustible unique : la balle de riz – coproduit du décorticage du riz paddy, produite localement dans un rayon allant de 1 km à 11 km autour des centrales. Le gazogène de la société Bionexx à Fianarantsoa a fonctionné un temps avec des morceaux de bois 5-7 cm de diamètre et d'une longueur égale à 10 cm. La disponibilité en balle de riz est variable selon la saison et selon la demande du principal marché concurrent : la fabrication de briques.

La centrale à vapeur, quant à elle, est alimentée uniquement à partir de bois de plantation d'Eucalyptus et de résidus de scierie (dosse de pin). Là aussi la concurrence avec le marché du bois de chauffe et du charbon de bois rend l'approvisionnement peu sûr. Il ne peut se faire qu'à partir de plantations ou de zones de gestion certifiées durables par l'administration forestière. Dans le cas de la centrale d'Andaingo, l'absence de plantations communales, oblige l'opérateur à s'approvisionner auprès de fournisseurs privés dont la disponibilité mais également l'éligibilité restent aléatoires.

Du côté des fournisseurs, les motivations à entrer dans la chaîne d'approvisionnement dépendent des offres qui se présentent dans le marché. Aussi, la possibilité d'asseoir une convention formelle de fourniture de biomasse afin de garantir l'approvisionnement : reste encore limitée.

Les coûts de production

Tous ces verrous : investissement lourd, problèmes d'approvisionnement, casses et absence de pièces détachées, faible consommation se répercutent lourdement sur les coûts de revient de l'exploitation et au final sur le coût de production et de vente de l'électricité. Tous les coûts de production relevés sont supérieurs aux coûts prévisionnels.

Les centrales à gazéificateur ont un coût de production de 1,25 à 1,35 fois supérieur au coût prévisionnel. Ces coûts restent néanmoins inférieurs aux coûts équivalents avec un moteur diesel. La centrale d'Andaingo révèle un coût de revient du kWh, 3 fois supérieur à la prévision initiale, du fait des pannes du moteur à vapeur. Les frais de maintenance du moteur à vapeur surpassent largement les prévisions alors que les coûts fixes sont déjà 4 fois supérieurs à ceux du gazogène.

Les coûts de production calculés pour tous les sites étudiés sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Les coûts de production des différents types d'installations

Coût de production	Andaingo	Anjajaja	Bejofo	Le Relais	Référence
Type d'installation	Chaudière + moteur vapeur	Gazéificateur + moteur dual mode	Gazéificateur + moteur dual mode	Gazéificateur + moteur dual mode	Groupe électrogène diesel
Puissance installée (kW)	70	70	120	135	70
Coût d'investissement (Ar/kW)	6 867 359	3 549 439	2 099 857	n.c.	2 000 000
Production annuelle (kWh)	20 068	80 371	48 930 PIF		
Coûts de production (Ar)	65 388 284	78 843 41	52 160 806		
Nombre d'abonnés actuels	83	217	100		
Coût de revient actuel du kWh	3 258	981	1 066	n.c.	1600
Production prévisionnelle (kWh)	113 088	200 312	679 349		
Nombre d'abonnés prévisionnel	144	567	571		
Coût de revient prévisionnel du kWh (AR/kwh)	1199	726	852	n.c.	1500

Conclusion

Madagascar dispose d'atouts certains pour le développement de l'électrification décentralisée à partir de biomasse : une politique ambitieuse d'accès à l'énergie, une ambition de développement des énergies renouvelables, une planification fonction des ressources énergétiques locales, une ressource biomasse abondante dans de nombreuses régions.

Cependant, face à ce potentiel important, les expériences sont encore peu nombreuses et souffrent de leur jeunesse : les technologies nécessitent encore d'être éprouvées dans les conditions de fonctionnement des localités malgaches ; elles sont toutes importées et ne disposent pas de relais techniques permettant leur maintenance à faible coût ; elles sont encore mal maîtrisées par les opérateurs locaux. Comme pour toute innovation, une phase de coadaptation est nécessaire pour une diffusion à grande échelle. Cette phase est malheureusement rendue difficile par des coûts d'investissement importants qui freinent le développement de nouvelles expériences, les économies d'échelle et les apprentissages indispensables.

Malgré ces difficultés, les premiers résultats montrent que ces technologies biomasse sont à même de produire une électricité à des coûts inférieurs aux groupes électrogènes, offrant ainsi un service énergétique de meilleure qualité en termes de durée quotidienne de fourniture et de puissance disponible. Ils montrent également dans le cas des gazéificateurs à moteur dual que ces technologies sont complémentaires des générateurs diesel existants et que ce double approvisionnement permet de moduler en fonction de la disponibilité en biomasse sans perte de service aux consommateurs.

Par ailleurs, il apparaît que la disponibilité en biomasse peut être limitée par les usages concurrents : briqueteries pour la balle de riz, bois de feu domestique pour les plantations forestières. Cette concurrence accroît nécessairement la valeur de la biomasse qui risque d'augmenter au cours du temps et qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les calculs économiques à long terme.

Mais loin d'être un verrou, ce coût potentiel de la biomasse est également un des intérêts de ce type de dispositif de production qui participe à une économie locale en amont, au service de l'amélioration des conditions de vie d'un grand nombre de ménages.

Bibliographie

Begerie, V., Blanchard, K. 2008. The Potential for renewable energies in rural areas in Madagascar. ONUDI, Bureau de Représentation pour l'Océan Indien à Antananarivo (Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles), Antananarivo.

Burnod P., Gazull L., Girard P. 2009. Les filières biomasse-énergie à Madagascar et sur l'île de Nosy Be : État des lieux et potentiels de développement pour la production d'agro-carburants, d'électricité et de chaleur : Rapport Final. Montpellier : CIRAD, 269 p.

Gazull L., Rasoalino L., Ramanantsara F.N., Analyse comparée de deux technologies d'Electrification Rurale Décentralisée à Madagascar. Montpellier, CIRAD/EIFER, 128p.

OMH 2008, Office Malgache des Hydrocarbures, page web : www.omh.mg

ORE 2009, Office de Régulation de l'Electricité, page web : www.ore.mg

Politique du secteur de l'énergie à Madagascar, 2003, Ministère de l'énergie et des mines, 8p.

F. Ben Fadhl, G. Servetti, K. Helveg Petersen, R. Rambeloarison, M. Marconnet, H. Razanarisoa, juin 2015, Assistance pour le Développement d'une Nouvelle Politique Energétique et d'une Stratégie pour la République de Madagascar – Phases 2 et 3 Document d'Etude de la Politique et Stratégie Energétiques – EUEI-DPF.

Caractéristiques du moteur à vapeur développé par PSI

Alexandre SILVEIRA,
Gustavo PEREIRA,
Patrick ROUSSET,
Philippe GIRARD

Généralités

L'accès des zones rurales à un approvisionnement énergétique fiable et compétitif est un élément incontournable du développement économique et industriel de nombreux pays en développement et de Madagascar en particulier. La nature des besoins y sont de plusieurs ordres : le pompage, l'éclairage, la couverture des besoins pour la transformation agricole telles que la mouture, le pressage, le séchage et la mise en place d'une chaîne de froid. La disponibilité en électricité rurale décentralisée permettrait l'essor de petites et moyennes entreprises fortement créatrices de valeur ajoutée et d'emplois.

Les besoins électriques restent cependant très faibles, de 5 à 50 kWe éventuellement associés à des besoins thermiques variant de 100 à 1000 kWh. Ces niveaux de puissance peuvent être assurés par les solutions conventionnelles de type moteur diesel, mais le coût du carburant est souvent un facteur limitant sa généralisation ou du moins son extension aux services domestiques publics (hors gestion nationale). Parmi les ressources énergétiques locales et renouvelables, l'hydraulique et surtout la biomasse sont généralement les seules à pouvoir satisfaire cette demande.

En milieu rural, le bois et les sous-produits agricoles sont généralement disponibles en quantité et mal valorisés, quand ils ne sont pas tout simplement perdus.

C'est la convergence entre la nature et les caractéristiques de la demande en énergie et la disponibilité en biomasse qui constitue le principal élément de la démarche du projet.

La conversion de la biomasse en énergie électrique par moteur à vapeur

La chaleur produite durant la combustion de la biomasse est utilisée pour transformer de l'eau en vapeur et élever la température et la pression de cette vapeur jusqu'à atteindre la pression d'utilisation. La phase de combustion se déroule dans un foyer et celle de vaporisation dans une chaudière. La vapeur produite est injectée dans un moteur alternatif. L'impact de la vapeur et éventuellement sa détente dans le cylindre provoque le déplacement d'un piston selon le même principe que tous les moteurs alternatifs.

Les moteurs à vapeur présentent l'avantage d'être extrêmement simples de conception et de fonctionnement. Ils sont à l'origine de la révolution industrielle. De plus ils ont des caractéristiques que l'on ne retrouve pas dans les autres types de générateurs.

Dans la pratique on appelle chaudière l'ensemble des équipements et accessoires permettant la conversion de la biomasse en vapeur (Figure 1). Les différentes parties d'une centrale à vapeur sont :

- la chaudière et son foyer,
- un circuit vapeur,
- le moteur,
- un alternateur qui va convertir l'énergie mécanique développée par la bielle en énergie électrique.

À ces éléments il faudra parfois associer un ensemble de conditionnement de la biomasse (broyage par exemple) en fonction de ces caractéristiques initiales.

PRINCIPE

C'est le mouvement linéaire des pistons (Figure 2), actionnés par les flux de vapeur qui, par le biais d'un arbre à cames et d'un vilebrequin, qui permet de faire tourner l'arbre relié à l'alternateur.

Les moteurs les plus simples fonctionnent sans détente de la vapeur dans le cylindre. Ainsi, par une simple pompe, la vapeur remplit la totalité du cylindre et ne se détend pas, il en résulte des rendements très faibles. Les moteurs plus élaborés utilisent des systèmes d'obturation des cylindres qui limitent l'admission de la vapeur dans le cylindre en début de course du piston et permettent ainsi la détente pendant la période de déplacement du piston.

Le gros avantage du moteur à vapeur réside dans le fait que, pour tous les niveaux de facteurs de charge, le moteur développe le même couple à toutes les vitesses de rotation des moteurs, la consommation de vapeur et la puissance restant proportionnelles à cette vitesse. Pratiquement tous les autres moteurs nécessitent la même fourniture d'énergie pour maintenir un moment constant quand la vitesse varie. De plus, les moteurs à vapeur sont les seuls à avoir une consommation nulle de vapeur à une vitesse nulle alors qu'ils développent un moment identique.

Les moteurs à vapeur que l'on peut encore rencontrer reposent sur deux principes :

Figure 1 : schéma général d'un ensemble moteur à vapeur

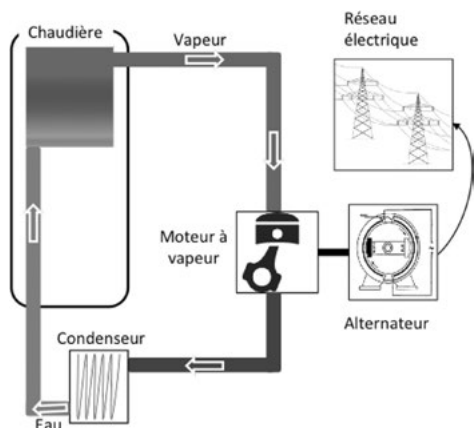
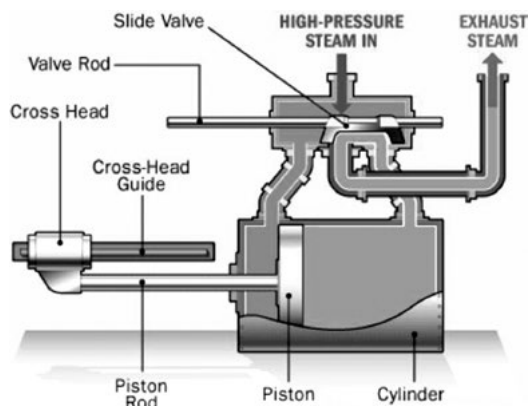


Figure 2 : Schéma de principe du moteur à vapeur (Source : Marshall Brain, 2000)



- **Corliss** : Ancienne, mais de conception particulièrement ingénieuse, cette machine est encore assez fréquemment rencontrée en sucrerie de canne. L'espace mort, c'est-à-dire l'espace restant lorsque le piston arrive en bout de course, est très réduit du fait de sa conception. Admission et échappement

s'effectuent par deux organes distincts limitant les frottements. Par contre ce principe se prête mal aux hautes températures et à la surchauffe. Elle n'est pas indiquée pour les pressions supérieures à 10 bars.

- **Machine à soupape** : Les machines à soupape présentent l'intérêt de se prêter aux températures élevées et à la surchauffe. La surchauffe permet de stocker plus d'énergie dans la vapeur et donc de meilleurs rendements. La soupape est légère et ne s'use guère. Elle nécessite par contre une lubrification, mais s'adapte bien aux grandes vitesses (600 t/mn pour 100 t/mn dans le cas de la Corliss). Les hautes pressions d'admission et la surchauffe permettent à ces machines à soupape de fonctionner dans des conditions thermodynamiques plus favorables, qui les rapprochent des turbines à vapeur.

Le tableau 1 ci-contre donne un aperçu des rendements thermodynamiques des moteurs à vapeur comparés aux turbines à vapeur simples.

Tableau 1 : Rendements thermodynamiques des moteurs à vapeur

Technologies	Rendement
Machine à action directe (sans détente) Corliss	0,25 à 0,35 0,60 à 0,70
Machine à soupape	0,65 à 0,75
Turbine à réaction et à condensation (0,1 bars)	0,75 à 0,80

LES DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS A VAPEUR

Les moteurs à vapeur disponibles sur le marché se regroupent selon deux grandes conceptions :

Les moteurs verticaux :

Ces moteurs sont de conception modulaire. Chaque module comprend 2, 3 ou 4 cylindres couplés. Les moteurs de ce type sont les plus performants. Ils envoient la vapeur en sortie d'un cylindre pour alimenter en cascade le cylindre voisin. Dans le cas du moteur à double détente, que l'on peut considérer comme l'ancêtre des moteurs actuels, la vapeur dite haute pression qui sort de la chaudière est injectée dans le cylindre haute pression. Le déplacement du piston vers le bas et l'ouverture de la valve d'échappement injectent la vapeur dans un deuxième cylindre basse pression avant d'être elle-même évacuée vers l'atmosphère ou le condensateur. Dans un deuxième temps, de la vapeur haute pression est injectée dans le cylindre haute pression sous le piston (alors en position basse) pour le faire remonter. Le même processus a lieu dans le cylindre à basse pression. De nombreux types de valves ont été développés, le plus classique étant de disposer la valve en entrée et en sortie de vapeur. Le mode de régulation et d'ajustement de l'ouverture de valve influe directement sur la performance des moteurs et leur adaptabilité à différents niveaux de puissance appelée. Il existe peu de constructeurs susceptibles de fabriquer encore ce type de matériel. Ce sont des matériels éprouvés présentant une durée de vie élevée et un coût de maintenance faible. À notre connaissance, Spilling (Photo 1) et PSI (Engetherm au moment de la conception du projet) sont les seuls constructeurs susceptibles de fournir ce type de matériel.

Photo 1 : Moteur à vapeur Spilling - 600 kW en RCA
(Source : P. Girard)

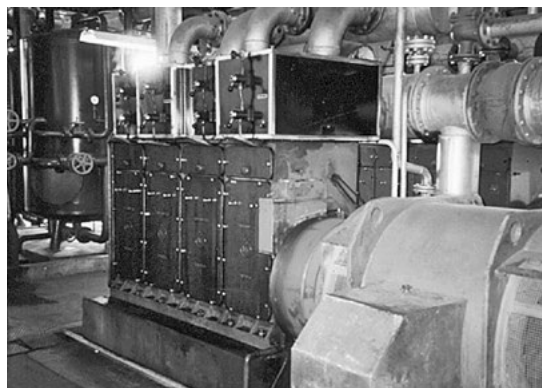
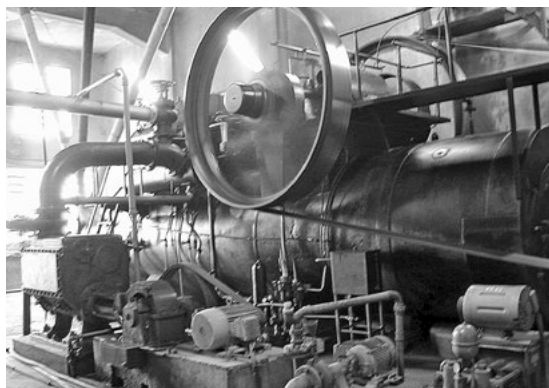


Photo 2 : Moteur Mernak (Brésil) en fonctionnement
(Source : P. Girard)



Les moteurs horizontaux :

Ces moteurs de type « locomotive » (Photo 2) fonctionnent à relativement faible vitesse (100 à 250 rpm), à faible pression (8 à 10 bar) et sont généralement constitués d'un seul cylindre. De petites unités de 30 à 180 kW étaient fabriquées en Thaïlande jusqu'à récemment. Dans ce cas, le moteur est raccordé en partie haute d'une chaudière à tube de fumées extrêmement simple (un seul passage de fumée sans faisceaux). Deux volants d'inertie sont, de part et d'autre, solidaires du vilebrequin. La vapeur d'échappement est injectée dans la cheminée pour accélérer le tirage naturel. Le rendement de ce type d'installation est de l'ordre de 3 % lorsqu'un combustible humide est utilisé pour atteindre 8 % avec un combustible sec. La pression de fonctionnement est généralement de 10 bars. La consommation de vapeur est élevée (12 à 15 kg/kWh).

Pourquoi la solution technique du moteur à vapeur ?

Le milieu rural se caractérise par une grande disponibilité en biomasse d'origine très variée (résidus agricoles, déchets d'industries ou plantations forestières à but énergétique, il faut environ 1 hectare de plantation d'Eucalyptus par kW installé), une disponibilité en main-d'œuvre qualifiée très difficile à mobiliser et une capacité d'investissement très limitée. La mise en œuvre d'une solution biomasse pour la production d'électricité décentralisée peut avoir un impact économique et social très substantiel : substitution du diesel, sécurisation de l'approvisionnement, minimisation des pertes par la conservation ou la transformation de produits agricoles, création d'emplois, etc.

Ce type de demande, par rapport aux solutions techniques disponibles, met en évidence que la réponse en énergies renouvelables matures n'est pas très abondante dans les pays en développement (PED), contrairement aux pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) qui sont en situation d'hyper choix. Les technologies mises au point en Europe ne peuvent être transférées que difficilement dans la mesure où les besoins des pays d'Afrique présentent des spécificités non prises en compte au moment de la conception. Cette situation traduit un réel besoin en recherche et développement (R&D), plus qu'un transfert de technologies. C'est pourquoi il nous est apparu important d'impliquer les pays émergents ou les pays du Sud qui disposent de technologies plus adaptées et transférables.

Pour réussir le défi du transfert de technologies, les partenaires du projet ont fait le pari d'aider les Petites et moyennes entreprises / Petites et moyennes industries (PME/PMI), ayant du savoir-faire et de la technologie dans le domaine des Energies Renouvelables (EnR), à coopérer avec les manufacturiers de Sud.

Madagascar dispose d'avantages importants en termes de disponibilité et de prix de la matière première mais aussi de taux d'électrification rurale, ce qui laisse envisager un nombre minimum d'installations à réaliser qui soit attractif pour les investisseurs. Cette situation est susceptible d'offrir un marché aux manufacturiers du Sud, pour autant que ces derniers disposent des compétences. Pour réunir les conditions favorables au transfert de technologies, les partenaires du projet ont fait le pari d'aider les Petites et moyennes entreprises / Petites et moyennes industries (PME/PMI), ayant du savoir-faire et de la technologie dans le domaine des Energies Renouvelables (EnR), à coopérer avec les manufacturiers de Sud.

La biomasse, qui représente le plus gros gisement d'EnR actuellement accessible dans ces pays, offre une opportunité en terme d'environnement et de développement du monde rural avec de réelles perspectives de partenariat industriel. Une fois que l'option biomasse est retenue, l'un des avantages majeur des centrales à vapeur réside dans l'utilisation d'une large gamme de combustibles par rapport aux autres options telles que la gazéification. La technologie des moteurs à vapeur est en outre largement éprouvée pour l'ensemble de ces combustibles.

Pour le cas de Madagascar, les moteurs à vapeur sont à ce jour les seuls à présenter la simplicité et la robustesse qui permettent leur mise en œuvre en milieu rural avec la souplesse nécessaire vis-à-vis du combustible et de la qualité de la vapeur. La possibilité de disposer d'une source complémentaire de vapeur est en outre un atout important compte tenu des enjeux de développement qui y sont associés

(séchage de produits agricoles, transformations...).

Les chaudières bien conçues permettent l'utilisation d'un grand nombre de biomasses dans les foyers, ce qui allège la gestion de l'alimentation du foyer. Ainsi, le recours à des bûches plutôt qu'à des plaquettes en sera facilité. Le choix de ce dernier sera cependant déterminé en fonction de la granulométrie moyenne ou de l'humidité de la biomasse. Il n'y a donc à ce niveau pratiquement aucune contrainte. La seule limite étant la combustibilité de la matière première et la non contamination de cette dernière pour des raisons environnementales évidentes (rejets dans les fumées).

Les performances techniques des installations de moteur à vapeur sont résumées dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Gamme de caractéristiques techniques d'installations à moteur à vapeur

Puissances électriques (kWe)	30 - 1500
Pression de vapeur entrée (bars)	10 - 30
Pression de vapeur en sortie (bars)	0,5 - 1,5
Vitesse de rotation (tpm)	600 - 1000
Rendement électrique (%)	10 à 20
Rendement thermique (%)	55 à 60

Par rapport à la solution plus classique, chaudière/turbine, de production d'électricité à partir de la biomasse, le moteur à vapeur présente plusieurs avantages dans leur gamme de puissance :

- Un coût bien inférieur,
- Un rendement électrique plus élevé,
- Une pression de vapeur d'admission, à performance équivalente, légèrement inférieure,
- Une vitesse de rotation de l'arbre moins élevée ce qui limite les coûts de maintenance qui sont de l'ordre de 3 % de l'investissement pour un fonctionnement de 5000 h/an.

Les niveaux d'investissement pour les moteurs sont extrêmement variables selon que l'on considère du matériel européen (600 à 900 €/kWe) ou brésilien (390 à 500 €/kWe).

Photo 3 : Prototype Engetherm

(Source : P. Girard)



Les sociétés qui, au niveau mondial, proposent du matériel industriel sont très peu nombreuses et celles qui présentent de réelles références sont encore plus rares. La société allemande Spilling qui fabrique et commercialise des moteurs à vapeur depuis plusieurs dizaines d'années offre toutes les garanties en matière de savoir-faire et de références. Elle possède des références en Europe avec une quinzaine d'installations en fonctionnement en Allemagne et dans de nombreux pays d'Afrique (Congo, République Centrafricaine, Madagascar, ...). Elle propose notamment un moteur sans lubrifiant avec des performances électriques garanties de 19%. L'inconvénient majeur de ce matériel est son prix extrêmement élevé, à raison de 311 000 EUR pour 300 kWe, et le manque de volonté de la société pour transférer sa technologie. Enfin, Spilling ne fournissait pas de moteur d'une puissance inférieure à 100 kW (gamme de 100 à 1,200 kW), puissance déjà bien supérieure à la demande rurale classique.

Dans sa recherche de solution alternative, le Cirad avait approché le seul fournisseur identifié de matériel : la société Engetherm (devenu PSI en 2012), et testé en 1998, leur moteur (Photo 3) en condition

1 Les turbines à vapeur sont assez peu disponibles sur la gamme de puissance des moteurs à vapeurs

réelle de fonctionnement, sur le site d'une petite coopérative rizicole à Cachoeira de Sul, dans le Sud du Brésil. Il était alimenté par une chaudière à balle de riz fournissant de la vapeur process (complémentaire) pour l'ensemble de l'usine. Parmi les nombreux avantages lors de son utilisation, nous avons listé les points suivant :

- Une pression de vapeur en entrée comprise entre 15 et 17 bars pour une température variant de 200 à 280°C,
- Une pression de sortie de la vapeur toujours de 1 bar (100°C),
- Le débit de vapeur testé compris entre 500 et 1100 kg/h. Les mesures ont principalement portées sur la partie moteur à vapeur et la production d'électricité sans tenir compte des conditions de production de la vapeur. Dans nos conditions de mesure, la puissance moteur calculée était comprise entre 15 et 90 kW,
- Un rendement électrique net de 7 % avec une consommation spécifique de 18 kg vap./kWh. Le tableau 3 résume les tests réalisés,
- Un encombrement minimal dû à sa position vertical ne nécessitant pas un imposant volant d'inertie.

Sa principale limite est son système de lubrification qui, de par sa conception, contamine la vapeur en huile. Lors de notre test, le moteur a fonctionné en vapeur perdue et évacuée dans l'atmosphère sans condensation ou traitement préalable. Le constructeur suggérait déjà des solutions techniques à ce problème telles que la fabrication d'éléments en céramique, sans lubrification, basée sur la technologie Spilling, ou le traitement de la vapeur par centrifugation.

Tableau 3 : Principales mesures et caractéristiques du prototype Engetherm

N°	Débit (kg/h)	T (°C) Entrée-Sortie	P (bars) Entrée-Sortie	Enthalpie (kJ/kg) Entrée-Sortie	Puissance récupérable (kW)	Rdt moteur max. (%)	Rdt. Carnot (%)	Rdt. Net (%)	CE (kg vap./kWh)
1	534	200 - 100	15 - 1	2800 - 2700	15	3	21	-	-
2	1018	210 - 100	17 - 1	2811 - 2700	31	4	23	-	-
3	1127	280 - 100	15 - 1	2993 - 2700	92	10	33	7	18

De façon générale, ces tests ont démontré que le moteur à vapeur Engetherm était un prototype qui fonctionnait correctement. La phase de démarrage était facile et la puissance disponible en moins de 30 minutes. Le fonctionnement en continu ne présentait pas de difficultés majeures. Une personne ayant une formation basique pouvait parfaitement piloter et contrôler l'installation. Ces observations et l'intérêt de la PME brésilienne pour un transfert de technologie vers Madagascar nous ont incités à adopter cette option et ce type de matériel pour le projet.

Caractéristiques du moteur PSI

M. Luiz Alexandre Alfano Silveira a travaillé durant 15 ans pour le fabricant de moteurs à vapeur horizontaux Mernak. À la fermeture de cette société, due à un contexte économique qui n'était pas favorable au développement et à la production de moteur à vapeur, il a créé la société Engetherm et a mis à profit son expérience acquise, en développant un moteur vertical à vapeur de faible puissance (à partir de 70 KWe) et en vendant des installations clé en main de chaudières à vapeur alimentées en biomasse. La société Engetherm est devenue PSI Thermo Metalurgica Ltda qui est une PME de 20 employés basée à Cachoeira de Sul, au sud du Brésil, à 250 km de Porto Alegre.

GAMME DE FOURNITURE PSI

Les principaux matériels construits outre les moteurs à vapeur sont :

- les chaudières : La gamme de matériels est comprise entre 100 et 8000 kg/h de vapeur saturée ou surchauffée pour des pressions variant de 8 à 16 bars. Les combustibles utilisés sont de tout type (gaz naturel, fuel, bois sous forme de plaquette ou sciure, balles de riz, etc.
- des éléments spécifiques pour des installations thermiques : tubes spiralés pour les échangeurs thermiques, soupapes de sécurité pour chaudière et filtres particules par la technologie des multi-cyclones,
- Systèmes d'alimentation de chaudières biomasse automatisés.

En plein développement, cette société se diversifie dans la fabrication d'éléments à haute valeur ajoutée avec une forte expérience dans le domaine des chaudières à vapeur. Son secteur de clientèle est principalement axé dans l'agro-alimentaire où les besoins en chaleur et vapeur sont importants. Ses clients sont principalement brésiliens mais PSI a ouvert depuis quelques années des marchés en Amérique du Sud.

La chaudière PSI

La centrale thermoélectrique PSI est composée d'une chaudière horizontale à tube de fumée (ASTM-A-178) (Photos 4) avec un surchauffeur pour élever la température de vapeur jusqu'à 225/230°C. La chaudière est totalement construite en acier au carbone type ASTM-A-285-C. Le tableau 4 donne les spécifications de la chaudière.

Tableau 4 : Spécification de la chaudière PSI

Catégorie	B
Capacité calorifique (kcal/h×1000)	896
Production de vapeur (kg/h)	1400
Surface d'échange (m ²)	70
Pression de travail (kg/cm ²)	14
Pression max. (kg/cm ²)	21

Photos 4 : Chaudière en construction avec détail des tubes de fumée.
Traitement de l'eau d'alimentation et chaudière en opération sur le site d'Andaingo (Source : P. Pousset, 2012)



Matière première utilisable

La chaudière qui fournit la vapeur à l'installation de référence est alimentée à partir de déchets de scierie comme des dosses, des délignures, etc. Les foyers, sous réserve de modifications de la grille ou des entrées d'air primaire, acceptent également des balles de riz ou de la sciure.

Description du moteur à vapeur

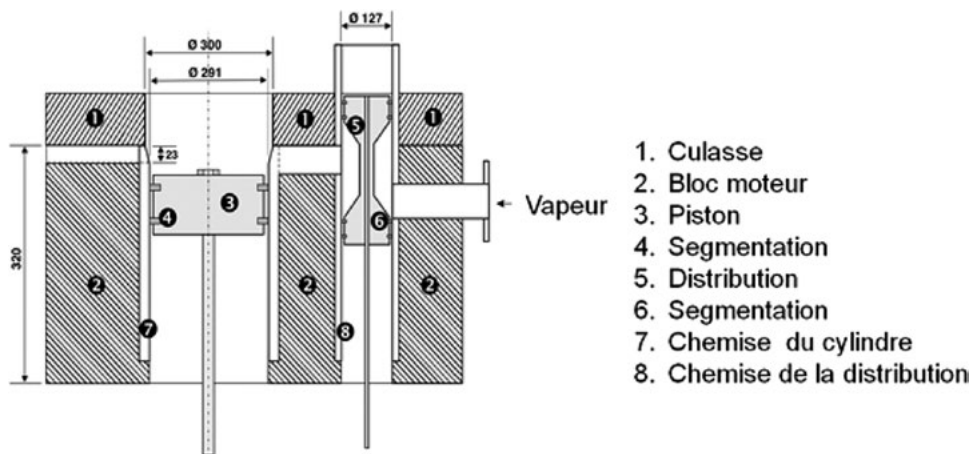
Les moteurs à vapeur PSI se déclinent en 4 versions capables de produire 75, 150, 225 et 400 kW/h. Les modèles commerciaux respectifs sont MVPSI-100, MVPSI-200, MVPSI-300, et MVPSI-500. Le tableau 5 donne les spécifications techniques pour le modèle MVPSI-100.

La vapeur qui entre dans le moteur doit être sèche afin d'éviter toute présence de fines gouttelettes d'eau qui pourraient provoquer des dommages dans le cylindre. La solution la plus simple, et généralement retenue pour éliminer ces gouttelettes, est de surchauffer cette vapeur, c'est-à-dire d'augmenter la température de la vapeur à pression constante, dans un ensemble appelé «surchauffeur» qui réutilise l'énergie contenue dans les gaz de combustion avant leur évacuation de la chaudière. Ainsi, la température idéale d'entrée de la vapeur surchauffée dans le moteur recommandée par PSI est de 225/230°C.

Tableau 5 : Spécifications techniques du modèle MVPSI-100

Modèle	MVPSI-100
Pression max de travail (Kg/cm ²)	14
Pression min de travail (Kg/cm ²)	06
Consommation de vapeur (Kg/h)	1000
Puissance mécanique (CV)	100
Puissance électrique (kW)	75
Tension (volts)	220/380
Fréquence (Hz)	50/60
Vitesse de rotation (rpm)	750
Régulation débit	Valve proportionnelle
Nature de la vapeur	Surchauffée
Nombre de cylindres	1
Système de lubrification	Huile en circuit fermée
Lubrification des segments	Huile minérale

Figure 3 : Détail de l'alimentation moteur à vapeur



Contrôle de l'admission de vapeur et de la rotation du moteur

La consommation d'électricité varie en fonction de la demande, industrielle et/ou domestique, et des caractéristiques du site d'implantation. Le moteur doit répondre à chaque instant aux fluctuations de la demande tout en maintenant constante la qualité de ce courant. Cette gestion peut se faire manuellement si la consommation énergétique est sensiblement constante comme cela peut être le cas pour du pompage par exemple, mais n'est plus compatible avec une production décentralisée d'électricité. PSI a

donc développé un système de contrôle automatique de l'admission de vapeur dans le moteur associant un circuit électronique et une vanne solénoïde à ouverture proportionnelle (Photo 5). Cet ensemble permet, par un contrôle fin du flux de vapeur, de maintenir constante la vitesse de rotation du moteur en compensant instantanément les variations du taux des fluctuations de la demande énergétique. Cette innovation est parfaitement adaptée aux fortes fluctuations, par exemple l'existence d'une scierie, qu'un contrôle manuel ne pourrait accomplir que de façon limitée.

Photo 5 : Vanne solénoïde proportionnelle contrôlant automatiquement l'admission de vapeur dans le moteur
(Source : P. Rousset, 2012)



La lubrification

Pour réduire les phénomènes de friction sur les parois internes du cylindre lors du mouvement alternatif du piston, les segments et la distribution doivent être continuellement lubrifiés avec de l'huile comme les moteurs à combustion interne. L'huile lubrifie toutes les pièces mobiles créant un film protecteur qui réduit la friction, elle contribue ainsi à parfaire l'étanchéité du moteur. Sans cette lubrification, l'étanchéité entre le piston et le cylindre ne serait pas complète et provoquerait une baisse de la puissance du moteur.

Afin de limiter la consommation d'huile due aux entraînements et la formation de calamine et divers dépôts dans le cylindre et la distribution, les premières versions du moteur PSI utilisaient une huile minérale dont la viscosité était compatible avec les hautes températures. Cependant, elle contaminait la vapeur en sortie du moteur empêchant sa réutilisation directe dans la chaudière après condensation. Malgré la mise en œuvre de techniques de centrifugation ou de filtration pour éliminer l'huile présente dans les condensats, des traces subsistent qui, si elles sont injectées dans la chaudière, provoquent la formation de bulles à l'intérieur du vase de pression et entraînent des dysfonctionnements du système de contrôle automatique des niveaux d'eau. De plus cette huile se sédimente dans la partie supérieure des tubes d'eau (type chaudière PSI) et crée une fine pellicule isolante ayant pour conséquence une diminution progressive du rendement, en plus de créer une atmosphère corrosive qui détériore prématurément les tubulures et les pièces métalliques de la chaudière.

En conséquence, dans les premières versions de son moteur, PSI fonctionne en vapeur perdue. Celle-ci est rejetée directement à l'échappement dans l'atmosphère. Les nouvelles versions devraient intégrer des segments en céramique auto-lubrifiés qui ont l'élasticité des segments conventionnels et assurent une étanchéité correcte permettant au moteur de fonctionner sans huile. Ces segments ont également l'avantage de fonctionner à plus haute température ce qui permettra d'augmenter les rendements thermiques.

Conclusion

Dans un contexte de gestion viable et décentralisée des ressources renouvelables pour la production d'énergie, nous avons fait le choix technologique d'un moteur à vapeur vertical de 75 kWe. L'approche comparative menée sur les différentes technologies en développement et/ou matures disponibles sur le marché international ainsi que les développeurs associés nous a conduit à retenir l'offre de la société brésilienne PSI. La technologie de production décentralisée d'électricité qu'elle développe depuis plus d'une quinzaine d'année répond en partie aux exigences du projet Bioenergelec. La société PSI est la seule à fournir un moteur de faible puissance (75 kWe), et surtout à accepter le principe d'un transfert de cette technologie vers une entreprise malgache. L'un des enjeux majeur de ce projet était bien l'adaptation et la mise à disposition d'une technologie simple, déjà éprouvée en milieu tropical, de faible coût à la fois d'investissement et de maintenance, qui puisse satisfaire, en milieu rural, un niveau de puissance que pratiquement seul les moteurs diesel sont aujourd'hui susceptible de satisfaire. Au-delà de Madagascar, c'était l'ensemble du marché africain et des PMA qui était visé.

Nous avons montré que dans l'exemple de Madagascar, la mise en place d'une action centrée sur la valorisation du bois d'œuvre et d'un système de cogénération d'électricité a fait l'objet d'un processus bien abouti de validation par les communautés et les communes concernées. Afin de proposer une solution répondant mieux aux normes environnementales et aux contraintes réglementaires malgaches et internationales, PSI a proposé, dès le démarrage du projet, des améliorations techniques qui ont nécessité, par un processus itératif, une phase de test et de validation plus longue que ce qui avait été envisagé à l'origine et dont la première installation d'Andaingo à certainement pâti. Elle a cependant permis de proposer des solutions satisfaisantes pour Manerinerina. Il n'en reste pas moins que la société PSI doit poursuivre son programme de R&D, notamment sur la partie régulation, voir à terme sur des segments céramiques, et transférer les améliorations futures qui seront apportées aux nouvelles versions du moteur. Ces améliorations nécessaires pour une recherche d'optimisation maximale, ne doivent cependant pas faire oublier l'objectif principal qui reste la disponibilité d'une technologie simple et peu coûteuse, notamment dans un contexte de disponibilité en biomasse importante. Les aspects formation sont également primordiaux dans ce processus d'appropriation et devront être poursuivis.

Bibliographie

Projet GESFORCOM, 2012. Mode d'emploi Centrale thermoélectrique élaboré par PSI Thermo Metalurgica LTDA. FOFIFA DRFP Ambatobe Antananarivo, Madagascar. Edition CIRAD. 24 p.

Brain, Marshall. «How Steam Engines work» 2000, HowStuffWorks.com

<http://science.howstuffworks.com/transport/engine-equipment/steam.htm>

Spilling: <http://www.spilling.info/products/steam-engines.html>

PSI: http://www.psienergiatermica.com.br/produtos/central_termoeletrica.php

Les communes cibles des équipements ERD :

Conditions d'approvisionnement en biomasse et eau ; Contexte socio-économique pour un développement d'activités économiques et une viabilité des centrales électriques à biomasse

Alain BERTRAND, Gilles CHAIX, François PINTA,
Pierre MONTAGNE, Honoré RANDRIAJAFY, Alain RASAMINDISA,
Norbert RAZAFINDRIANILANA, Daniel ANDRIAMBOLANORO

Le développement local : c'est la gestion viable et la valorisation des ressources renouvelables plus l'électricité

Le modèle actuellement dominant de développement à l'échelle mondiale est fondé à la fois sur une urbanisation accélérée accompagnée de l'exode rural et sur une concentration productive tournée vers les marchés urbains qui laisse peu de place aux petites et moyennes entreprises et encore moins aux micro-entreprises. Ceci n'empêche pas le capitalisme de diffuser, par le réseau capillaire, des micro-échanges au plus profond des terroirs. Exode rural et pauvreté paysanne se combinent pour laisser l'espace rural ouvert à l'accaparement des terres (le *land grabbing* anglo-saxon).

La réponse à l'appel à propositions de l'Union Européenne, qui a permis d'élaborer le projet Bioenergelec, a été fondée sur d'autres paradigmes et sur une autre vision du développement. Pour les rédacteurs de la proposition il était important, dans un pays comme Madagascar, où le processus d'urbanisation rapide reste encore limité et où le taux de ruraux reste élevé au sein de la population, de proposer des actions visant à stimuler le développement local en milieu rural. Dans cette perspective on voit bien le lien qui peut exister entre une gestion et une valorisation locale viable et durable des ressources naturelles renouvelables et un accès à l'énergie pour développer les activités de transformation primaire des produits agricoles et de la biodiversité. D'où la formule : « *Le développement local, c'est la gestion viable et la valorisation des ressources renouvelables plus l'électricité* ».

Quelle électrification rurale décentralisée ? Le choix de la centrale à combustion de biomasse pour faciliter le développement des activités productrices et de transformation

NE PAS LIMITER L'ÉLECTRIFICATION DÉCENTRALISÉE AU SEUL ÉCLAIRAGE PUBLIC ET DOMESTIQUE

De notre point de vue, l'ambition de l'électrification d'un village en zone rurale ne doit pas se limiter à apporter l'éclairage public et à fournir en électricité les ménages capables de payer leur consommation. Il est important que l'électrification du village puisse aussi créer un grand nombre d'activités génératrices de revenus ralentissant par la même occasion le problème de l'exode rural, telles que les épiceries et le commerce de boissons réfrigérées, la restauration, les petits services comme le rechargement de batteries électriques, mais aussi les unités de décorticage du paddy, les travaux de menuiserie et de ferronnerie, les ateliers mécaniques, etc. ur permettre l'alimentation énergétique de ce types d'activités économiques, la capacité de production électrique (ou puissance installée) de la centrale de production doit être plus élevée que celle nécessaire pour satisfaire les besoins domestiques, et la production doit être assurée durant une grande partie de la journée (pas seulement 4 heures par jour en fin de journée).

Tableau 1 : Principaux éléments de comparaison de deux types de centrale de production pour l'électrification rurale : l'une par groupe électrogène diesel, l'autre par centrale à combustion biomasse

	Centrale électrique à partir de diesel	Centrale électrique à partir de biomasse
Capacité de production électrique (kWe)	20	70
Période de fonctionnement quotidien	17h30 à 21h30	6h00 – 23h00
Type de services énergétiques et consommateurs ciblés		
	Alimentation intermittente pour : <ul style="list-style-type: none"> - Eclairage public - Electricité domestique pour les ménages raccordés - Commerçants et restaurants pour la réfrigération des boissons - Entreprise de service de rechargement de batteries électriques - Activités sociales, religieuses ou culturelles 	Alimentation quasi continue pour : <ul style="list-style-type: none"> - Eclairage public - Electricité domestique pour les ménages raccordés - Commerçants et restaurants pour la réfrigération des boissons - Entreprise de service de rechargement de batteries électriques - Activités sociales, religieuses ou culturelles - Réfrigération et congélation pour la conservation des aliments - Production de force mécanique par entraînement de moteurs électriques des ateliers de transformation des produits - Unités de décorticage du paddy, atelier de sciage et séchage de bois d'œuvre, menuiseries, ferronnerie, ateliers mécaniques, etc.

PROMOUVOIR LE DÉVELOPPEMENT DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES LOCALES GRÂCE À UNE OFFRE DE FOURNITURE D'ÉLECTRICITÉ ADAPTÉE AUX BESOINS DES ACTEURS ÉCONOMIQUES

La mise en place d'une électrification rurale décentralisée (ERD) performante pour le développement économique local doit fournir l'énergie électrique tout au long de la journée, à un coût abordable pour tout type de consommateurs, et qui doit être en quantité suffisante pour alimenter les besoins domestiques mais aussi ceux des acteurs économiques locaux.

La plupart des centrales de production d'électricité utilisant du diesel ne fonctionnent habituellement que le soir sur une courte plage horaire, généralement entre 17h et 21h. Ce mode de fonctionnement se justifie premièrement par le coût élevé du diesel et un prix de vente tout aussi élevé. En 2014 les tarifs allaient de 1300 Ar/kWh (ce qui équivaut à 0,36 Euros/kWh) à 1800 Ar/kWh (l'équivalent de 0,49 Euros/kWh). Deuxièmement, il découle de la grande variation de charge constatée sur un réseau ERD : la puissance électrique appelée par le réseau de distribution locale avant 17h30 et après 21h30 est très inférieure à celle atteinte au cours de la période de pointe (entre 17h30-21h30). Dans les périodes de faible consommation, le coût de production augmente fortement du fait de l'augmentation de la consommation spécifique (CS) en carburant. Une CS peut par exemple passer de 0,33 l/kWh électrique produit (dans des conditions de charge proches de l'optimum) à 0,55 l/kWh en cas de fonctionnement en sous-charge manifeste. L'augmentation du coût de production est de 67%.

Dans l'impossibilité commerciale de proposer un prix de vente trop élevé, la seconde option est de restreindre les heures de fourniture d'électricité durant les périodes de moindre consommation. Il est évident qu'en coupant la fourniture d'électricité durant les heures de travail, ce mode de fonctionnement ne permet aucunement le développement d'activités économiques génératrices de revenus.

De plus, le prix de vente de l'électricité doit être abordable pour que les potentiels entrepreneurs locaux considèrent véritablement sa disponibilité comme un atout pour le développement de leur activité.

LES CONDITIONS FAVORABLES À L'ESSOR DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES VIA L'ERD À PARTIR DE BIOMASSE

Les trois conditions nécessaires à satisfaire pour qu'un village puisse être équipé d'une centrale électrique à combustion biomasse sont :

- une demande solvable en électricité suffisamment forte,
- une disponibilité en bois ou en déchets agricoles en quantité suffisante,
- une disponibilité régulière en eau tout au long de l'année même en saison sèche.

Ces conditions ont déjà été vérifiées et constatées en 2009, première année de la mise en œuvre du projet BIOENERGELEC.

Le choix privilégié d'une centrale à combustion biomasse

PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ À UN COÛT INFÉRIEUR

Le choix d'une centrale électrique à biomasse est approprié lorsqu'il existe localement un gisement de biomasse disponible à bas coût de production (cas du bois d'Eucalyptus) ou à bas coût de mobilisation (cas des déchets agricoles comme les balles de riz ou les rafles de maïs) par comparaison au coût du gasoil ou des autres produits pétroliers. Dans le cas d'utilisation de déchets, ce type de centrale permet simultanément de valoriser ces déchets qui peuvent être nuisibles pour l'environnement ou pour la santé

publique (poussières, odeurs, etc.). L'atout majeur est par conséquent de pouvoir produire de l'électricité à un coût compétitif, très inférieur au coût de production par groupe diesel.

PRODUIRE ET FOURNIR DE L'ÉLECTRICITÉ TOUT AU LONG DE LA JOURNÉE

Une centrale électrique à combustion et cycle vapeur fonctionne à partir d'un foyer à combustion et d'un générateur de vapeur qui ont une forte inertie thermique du fait de la quantité importante de matière : brique réfractaires, métal, et eau chaude du système. Afin de limiter les pertes énergétiques par refroidissement inutile, il est plus efficace de la faire fonctionner tout au long de la journée. C'est aussi à l'avantage des activités génératrices de revenus. Il ne reste plus qu'à fournir de l'électricité capable de satisfaire les besoins en énergie domestique de la population raccordée au réseau local de distribution.

Le tableau 2 ci-après démontre que la capacité de production d'électricité des centrales à biomasse du projet BIOENERGELEC est de 70 kW électrique et couvre bien les besoins potentiels des villages nouvellement électrifiés :

Tableau 2 : Besoins en électricité d'un village par type d'activité

Type de consommateur	Nombre d'unité	Besoin en puissance installée
Ateliers de décorticage du paddy et de polissage du riz	2	8 - 12
Métallier-soudeur et ateliers mécanique : poste à souder, disqueuse, perceuse, meuleuse	2	13
Menuisier, et atelier de sciage et séchage de bois d'œuvre	1	2 - 6
Moulins à céréales pour la production de farine	1	2 - 4
Electricité domestique pour les ménages raccordés (ensembles)	1	5 - 15 en journée 25 - 30 à l'heure de pointe, vers 19h
Commerçants et restaurants pour éclairage et réfrigération des boissons (selon le village, surtout le soir)	Ensemble	5 - 10
Éclairage public (uniquement le soir)	1	6 - 9 (uniquement après 18h)
Activités commerciales : service de rechargement de batteries électriques de téléphones portables	1	1 - 2
Activités sociales, religieuses ou culturelles	Ensemble	2 - 3 (consommation ponctuelle)
Reserve de capacité de production (pour permettre de répondre aux demandes des premières années (10-15 % de la capacité installée)	1	7 - 10
Autoconsommation par l'ensemble des équipements de la centrale de production	Ensemble	12 - 14
Capacité de production électrique (kWe) de la centrale à biomasse		70 kW

DÉVELOPPER UNE FILIÈRE LOCALE D'APPROVISIONNEMENT EN BIOMASSE ET PERMETTRE UN DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE LOCAL

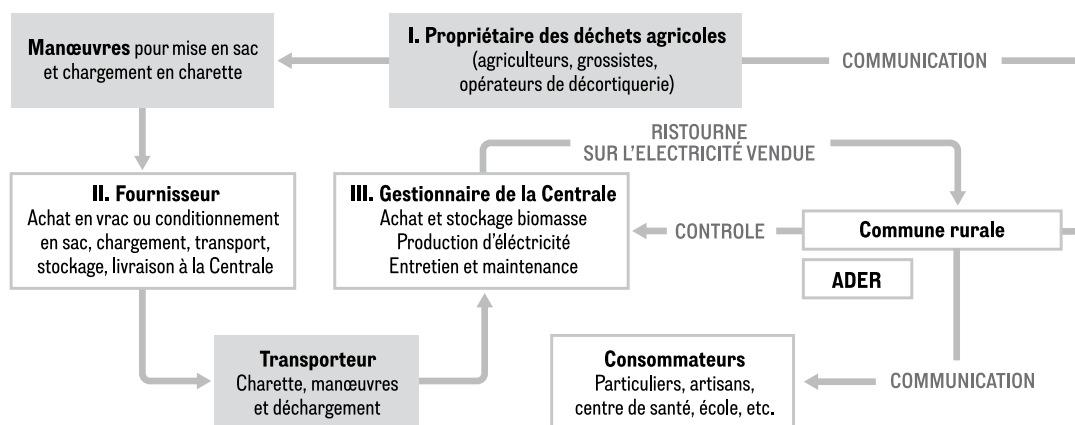
Outre le développement d'activités génératrices de revenus, la mise en œuvre d'une centrale électrique décentralisée à combustion biomasse permet aussi de créer un débouché local supplémentaire de bois énergie. Comparativement aux filières traditionnelles de production de bois de feu (*kitay*) ou de charbon de bois dont la commercialisation est sous le contrôle des intermédiaires, le développement d'une filière courte de vente de bois énergie, pour l'approvisionnement de la centrale, peut améliorer l'organisation de l'exploitation des plantations forestières et peut permettre une meilleure réactivité face à l'évolution des besoins en bois de l'économie locale. Ainsi, le développement d'un débouché local de proximité pour le bois de plantation peut stabiliser, voire améliorer, les revenus des propriétaires forestiers locaux qui seront moins dépendants des grossistes en bois de feu ou en charbon de bois.

Une autre activité potentiellement génératrice de revenus qui se développera grâce aux centrales à combustion biomasse est le transport du bois ou des biomasses résiduelles agricoles par charrette ou autres type de petits véhicules de transport local. La création d'emplois locaux rémunérés porte autant sur le transport que sur la manipulation (mise en sac, chargement, déchargement, rangement pour le stockage, etc.).

À titre d'exemple, nous avons évalué au cours du projet BIOENERGELEC que le transport en charrette sur une distance comprise entre 5 et 8 km, y compris le chargement et déchargement, peut revenir à 7 500 Ar/charrette (2,06 Euros/charrette). Sur la base d'une charge utile de 0,5 tonne par charrette, le coût de revient pour une tonne de bois rendue à la centrale est de 15 000 Ar/tonne (l'équivalent de 4,12 Euros/tonne). Avec en moyenne un voyage aller-retour par jour, c'est au moins 3 emplois à plein temps qui sont créés pour pouvoir assurer le transport d'environ 330 tonnes de bois par an (sur la base de 220 jours/an). Si l'on rajoute l'utilisation probable des résidus agricoles comme les balles de riz, la manipulation ; le transport et le stockage de la biomasse permettront de créer plus d'emplois dont le nombre dépend de la configuration d'approvisionnement possible.

La figure 1 ci-après montre schématiquement l'organisation prévisionnelle de l'approvisionnement de la centrale.

Figure 1 : Organisation prévisionnelle de l'approvisionnement en déchets agricoles d'une centrale thermoélectrique (source : F. Pinta)



Le choix des quatre régions cibles : diversité des dynamiques humaines et économiques

L'appel à proposition lancé en 2006 par l'Union Européenne ne prévoyait pas de concentration des actions développées par les partenaires. Les enjeux du développement rural à Madagascar ont conduit au choix, en fonction des possibilités de mobilisation des ressources humaines et financières par les partenaires du CIRAD c'est-à-dire l'ADER, le FOFIFA et l'ONG PARTAGE, d'interventions qui cibleraient quatre régions du pays.

Celles-ci ont été retenues par rapport à leur disponibilité en biomasse ligneuse (les biomasses non ligneuses se retrouvent un peu partout) et par rapport à la demande en ERD et la possibilité d'investissement des petits entrepreneurs à même de créer de la demande et donc de faciliter la rentabilité des installations. Le facteur de disponibilité en eau pour l'approvisionnement de la chaudière et la production de vapeur a également été un critère de choix mais plus au niveau des communes.

Quatre régions ont donc été retenues d'abord à partir de la disponibilité en ressources ligneuses :

- La région Boeny est riche en formations naturelles à *Ziziphus mauritiana* (*mokonazy*), en particulier dans les communes d'Ambondromamy, de Manerinerina et de Tsaramandroso. Il a été démontré (voir Razafindrianilana & Andriambolanoro, *in* Arina, 2010) qu'il était possible de les mettre sous conditions de gestion forestière durable pour la production de charbon de bois pour la ville de Mahajanga. Ces mêmes formations sont aussi en mesure d'assurer l'approvisionnement de systèmes ERD. Quant au Boeny, c'est une zone aux conditions climatiques plus sèches mais où les dynamiques agraires restent fortes. C'est aussi une zone d'installation de migrants.
- La région Anosy présentait une forte disponibilité en *Eucalyptus* sp. dans le massif de la Fanjahira d'une surface de 1000 hectares et déjà mise sous aménagement participatif au début des années 2000. Ce massif pouvait aussi être mis sous aménagement pour assurer, outre une production durable de charbon de bois (besoin en 2006 de 7000 tonnes pour la ville de Tolagnaro), mais aussi une biomasse Eucalyptus pour une production ERD. La région Anosy est caractérisée par un fort gradient pluviométrique décroissant d'est en ouest, un quasi enclavement agricole combiné avec une demande de produits agricole croissante liée au développement urbain et minier à Fort-Dauphin.
- La région de la Haute Matsiatra présente d'importantes disponibilités en formations plantées d'Eucalyptus fortement exploitées pour la production de charbon de bois destiné à la ville de Fianarantsoa. La Haute Matsiatra est une région avec une très forte densité de population, une grande pauvreté, un exode rural élevé où la demande de développement est intense. C'est une région où l'approvisionnement des équipements ERD ne posera pas de problème tout en apportant à ces populations des opportunités de développement.
- Enfin la région Alaotra-Mangoro, à 300 km à l'est d'Antananarivo, recèle le grand massif forestier dit Ankeniheny-Zahamena de près de 400 000 hectares et la riche plaine rizicole du lac Alaotra. C'est aussi une des principales zones de plantations d'Eucalyptus qui depuis plusieurs décennies approvisionne en charbon de bois la ville d'Antananarivo. Cette forte disponibilité en biomasse bois rend possible la mise en place d'équipements ERD. La région Alaotra-Mangoro, grenier à riz de Madagascar, illustre les zones où le dynamisme agricole est le plus intense dans un contexte de pluviométrie plutôt favorable. Dans ces campagnes, la modernisation est rapide mais reste entravée par les difficultés d'accès à l'énergie pour les activités de transformation.

Ensuite, une vingtaine de communes ont été retenues par l'ADER comme cible potentielle d'une ERD biomasse à partir de l'identification précise d'activités consommatrices d'électricité où le coût de production avec des groupes au gazoil est un frein important au développement économique.

Dans ces contextes, le choix des cinq communes d'intervention a été fait en fonction de la demande solvable potentielle en électricité, de leur éloignement de toute route principale ou de la volonté des acteurs locaux que de la disponibilité de biomasse. De larges concertations ont été organisées en ce sens dès le début du projet en 2009. Une mission de pré-identification a permis à une équipe de consultants de faire des propositions argumentées sur leurs observations directes sur le terrain. Ces choix ont été acceptés lors d'un atelier national organisé en présence des quatre chefs de région et des maires des cinq communes retenues.

Tableau 3 : Comparaison des 5 communes cibles

		Mahaditra	Ifarantsa	Ambohijanahary	Didy	Manerinerina	Béfeta
Ressources	Disponibilité en déchets agricoles	x	-	xxx	xx	xx	x
	Concurrence avec autres activités bois	non	non	-	non	oui/non	non
	Disponibilités Eucalyptus/bois	x	xxx	-	x	xxx	x
Consommation électricité	Activités artisanales	x	-	xxx	x	xx	x
	Domestique	xx	x	xxx	x	xx	x
Plantations	Nécessité plantations Eucalyptus	oui	non	non	impératif	non	oui
	Initiatives récentes / dynamisme	non	non	oui	oui	non	non
Taille CR	Nombre habitants	xx	x	xxx	xx	xx	x
	Activité économique / artisanale	x	x	xxx	xxx	xxx	x
Réseau	Réseau électrique existant	-	-	x	x	xxx	x
	Groupe communal en activité	non	non	oui	oui	oui	non

(Source : Chaix / atelier de septembre 2009)

LES CRITÈRES DE SÉLECTION DES COMMUNES CIBLES : INTRANTS (BIOMASSE ET EAU) ET PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET DES ACTIVITÉS ARTISANALES

Les critères de diagnostic et de présélection des communes cibles avaient été établis en tenant compte des éléments suivants :

Disponibilité en biomasse pour l’approvisionnement

- Nature (bois énergie de plantation ou de végétation naturelle en gestion durable ; balle de riz ; déchets agricoles ; déchets de transformation du bois d’œuvre),
- Quantités disponibles annuellement,
- Distances de transport,
- Saisonnalité des productions de biomasse,
- Organisation envisageable.

Demande solvable potentielle en énergie électrique

- Demande domestique et assimilée c’est-à-dire insuffisante pour justifier seule une électrification rurale par cogénération,
- Demande artisanale existante, programmée et potentielle :
 - Dépaillage-décorticage du paddy,
 - Sciage du bois d’œuvre et menuiserie,
 - Soudure et menuiserie métallique,
 - Autres opportunités de consommation énergétique artisanale.

Accessibilité et caractéristiques techniques des sites possibles d’installation d’une unité de cogénération

- Accessibilité et état des routes et pistes pour le transport du matériel,
- Sites non inondables et disponibilité en eau,
- Possibilités d’implantation d’activités artisanales proches du site de production électrique,
- Proximité du réseau de distribution.

La mission de pré-identification des communes consistait à déterminer dans chaque région quelles seraient les communes aptes à recevoir une unité ERD de type biomasse-énergie. La mission devait pré-identifier ces communes à partir d'une liste d'une quinzaine de communes dans les quatre régions. La méthodologie appliquée pour la présélection des communes, illustrée par le schéma de la figure 2 suivante, a été basée sur le classement des communes par rapport aux conditions de viabilité du projet d'électrification. La présélection des communes cibles a été réalisée selon un processus itératif.

Une première phase exploratoire menée simultanément par des consultants nationaux de l'ADER et du FOFIFA (DRFP) a permis de recueillir les informations préliminaires dans chacune des régions identifiées :

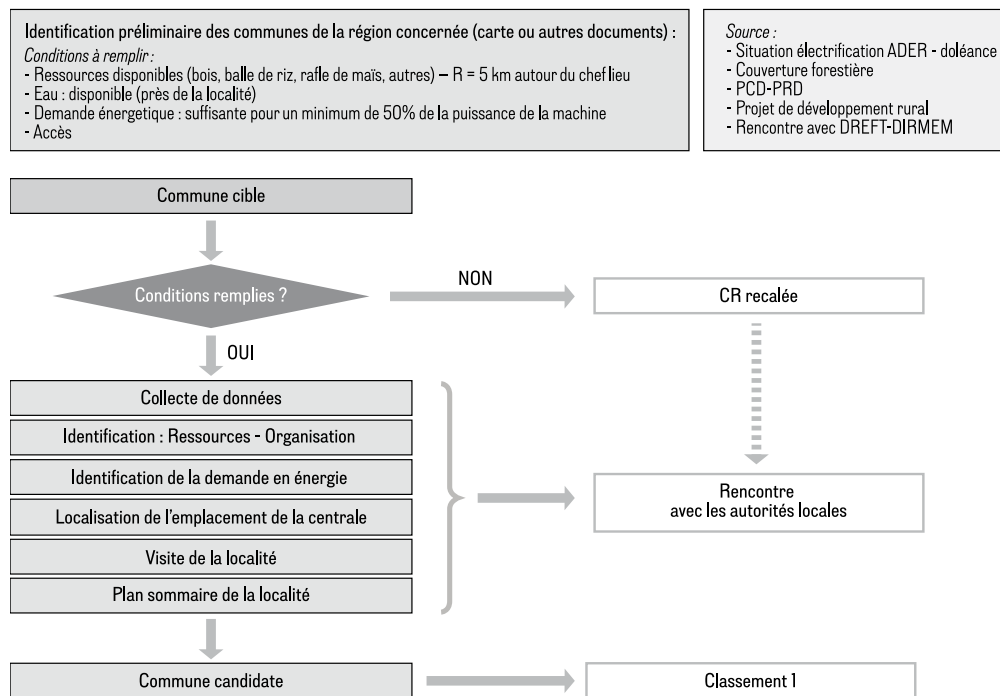
- Les communes déjà électrifiées par ou avec l'appui de l'ADER et le mode d'alimentation électrique de la commune (solaire, éolien, hydraulique, groupe diesel, etc.) ainsi que la puissance disponible ;
- Les communes ayant déposé une demande, ou mieux, un projet d'électrification à l'ADER (mode d'électrification envisagée, puissance, motif de la demande) ;
- Les communes connues pour disposer de ressources ligneuses significatives (plantations d'Eucalyptus ou de pins, taillis de *Ziziphus* sp. ou d'autres formations naturelles, etc.) ainsi que d'autres ressources en biomasse (balle de riz par exemple).

La confrontation de ces différentes informations a permis au cours d'une deuxième phase d'échanges d'établir une liste préliminaire de communes présumées intéressantes et intéressées à une éventuelle sélection. Au-delà de cette deuxième phase il devenait impératif de procéder à une descente sur le terrain pour :

- Vérifier et valider les informations disponibles,
- Examiner la position des conseils communaux et des maires par rapport à la perspective d'une intervention du projet BIOENERGELEC pour l'électrification rurale éventuelle de la commune.

Ainsi, la mission de pré-identification des communes a ouvert une période d'échanges entre la commune, l'ADER, le projet BIOENERGELEC et le FOFIFA.

Figure 2 : Critères de choix des communes cibles



L'analyse sommaire de la demande en électricité, dans l'ensemble des communes visitées, était nécessaire pour évaluer dans un premier temps la capacité d'accueil de la commune de l'installation d'une machine à vapeur de 70 kW pour l'électrification de la localité. Pour ce faire, une « fiche de renseignements » a été établie pour chaque commune visitée.

Les caractéristiques démographiques pour estimer : le nombre d'habitants dans la localité, le nombre de toits et de ménages, le nombre approximatif des ménages pouvant s'abonner en électricité. L'estimation du nombre d'abonnés potentiels, toutes catégories confondues, permettait de fonder le projet sur deux principes : permettre l'accès aux services de l'électricité au plus grand nombre et rentabiliser les installations de façon à assurer la viabilité financière du projet.

Les caractéristiques géographiques étaient évaluées pour apprécier la dynamique de développement actuelle de la commune et ses possibilités à venir en cas d'électrification. Ces caractéristiques sont : l'accessibilité, les moyens de télécommunication, la distance par rapport au centre électrifié le plus proche et enfin l'existence (éventuelle) d'une chute d'eau au voisinage de la localité pour le choix éventuel d'une centrale hydroélectrique (ce qui disqualifiait la commune).

Les communes suivantes furent ainsi choisies puis non présélectionnées par les consultants nationaux :

- Région Anosy : Mahatakaly, Isaka Ivondro et Soanierana,
- Région Alaotra-Mangoro : Ambodinonoka (Andilana) et Ilafy,
- Région Haute Matsiatra : Vohitrafeno, Ambinanidovoka, Talata Fandradava et Anjoma,
- Région Boeny : Ankijabe.

Avant le départ de la mission de sélection, il avait été envisagé un choix d'options qui fut révisé à la fin de la mission :

Tableau 4 : Choix des communes cibles

Nombre de communes à sélectionner dans chaque région	Prévision	Proposition de la mission
Anosy	2	1
Alaotra-Mangoro	1	2
Haute Matsiatra	2	2
Boeny	1	1

La mission permet de parcourir et étudier les communes suivantes :

Tableau 5 : Choix des communes cibles (2)

Communes examinées par la mission (en italique gras les communes ou les options non présélectionnées et rajoutées en cours de mission)	
Anosy	Amboasary, Ifarantsa
Alaotra-Mangoro	Didy, Ambohijanahary, Andilanatoby
Haute Matsiatra	Befeta, Isorana, Mahaditra, <i>Andranomiditra</i> , <i>Mahasoabe</i> (scierie du Betsileo), <i>Mahazoarivo</i> (commune identifiée mais non visitée et à visiter par les consultants nationaux)
Boeny	Ambondromamy, Manerinerina, Ambolomoty

Diversité des ressources en biomasse : bois d'Eucalyptus, bois de Ziziphus et balles de riz

Nous avons considéré 3 types de ressources : le bois des plantations d'*Eucalyptus*, le bois de *Ziziphus*, et enfin les déchets agricoles dont le plus abondant : les balles de riz.

BOIS DES PLANTATIONS D'EUCALYPTUS

Que ce soit les plantations d'*E. robusta* ou d'*E. camaldulensis*, les plantations sont exploitées et gérées en taillis avec des durées de rotations variables selon la disponibilité locale, les demandes et les aléas climatiques type cyclone. Les peuplements d'*E. citriodora* d'Ifarantsa sont constitués de futaie, ou futaie sur souche et taillis. La productivité de ces taillis a été estimée entre 6 et 12 m³/ha/an selon le site et l'espèce. Hormis à Ifarantsa, les plantations sont caractérisées par des tailles de parcelles très variables de quelques ares à quelques hectares. Les propriétaires sont nombreux, de l'ordre d'une quarantaine pour couvrir 60 hectares par exemple. La production de ces peuplements est dans la plupart des cas destinée au bois de feu consommé localement (Mahaditra, Befeta), à la production de charbon (Didy), à la production de bois d'œuvre (Ifarantsa).

Les règles sylvicoles proposées pour alimenter la centrale sont les suivantes :

- Taillis sous futaie pour une production mixte (bois énergie, bois d'œuvre et de service),
- Rotation du taillis : 6 ans,
- Hauteur de coupe : 5-10 cm au-dessus de la base du rejet pour les brins de taillis,
- Laisser 30-40 tiges/ha en futaie sur souche. Une formation à ce type de gestion et l'édition de fiches en malgache serait nécessaire,
- Taille des parcelles : selon la surface des propriétés,
- Mise en défens temporaire contre le feu, pâturage libre dans les jeunes taillis.

Même si la pression peut être forte, ces plantations ne montrent pas de signes de dépérissement sauf les cas les plus extrêmes notamment au passage régulier des feux de brousse. Dans certains cas, les plantations mériteraient d'être regarnies quand les trouées sont trop importantes afin de couvrir plus le sol parfois dénudé, et de limiter dans d'autres cas l'enherbement, et donc les risques de feu. La gestion en taillis convient très bien aux deux espèces principales *E. robusta* et *E. camaldulensis* mais aussi à *E. citriodora*, plus sensible au passage du feu toutefois.

Tableau 6 : Bois d'*Eucalyptus* sp.

Espèce	Densité du bois à 12% (g/cm ³) *	Capacité à rejeter	Risque sanitaire	Autres usages qu'énergie
<i>E. robusta</i>	0.807	+++	0	bois d'œuvre
<i>E. camaldulensis</i>	0.811	++	+++	bois de service
<i>E. citriodora</i>	0.992	++	+	bois d'œuvre, poteaux, huile essentielle

* Données CIRAD UPR BIOWOOEB

BOIS DE ZIZIPHUS

Ziziphus mauritiana (jujubier) est une espèce africaine sahélienne, très anciennement naturalisée à Madagascar où elle envahit les terrains dégradés des zones semi-arides de basse altitude.

Dans la région Boeny, le jujubier s'étend de façon importante depuis les années 1970. C'est un arbre de petite taille qui colonise les pâturages et les savanes via une dispersion très efficace par endozoochorie, favorisée par l'importance du pâturage des zébus dans ces formations végétales (ils consomment les fruits

et rejettent les graines, dont de nombreuses non broyées, dans leurs bouses). Le jujubier rejette de souche, ce qui lui permet de se maintenir durablement là où il s'est installé, même en cas de coupes fréquentes, comme on peut l'observer facilement, aux bords des routes et des villages. À notre connaissance, l'espèce n'est menacée par aucun risque phytosanitaire. Elle est même considérée par certains agriculteurs, éleveurs et scientifiques, comme une peste végétale. Le bois de jujubier a une densité assez forte (masse volumique fraîche de 970 kg/m³). Lorsqu'il est sec à l'air (densité de 0,750 à 12% d'humidité), sa valeur calorifique est très bonne. C'est pourquoi, les surfaces importantes couvertes par les taillis de jujubier offrent une source de biomasse importante pour les populations locales, sans que leur exploitation ne présente un risque grave pour l'environnement.

L'approvisionnement de la centrale de Manerinerina en biomasse a été organisé en relation avec le Vondron'Olona Ifotony (VOI) de Bedoa. C'est un groupement de bûcherons de la forêt située autour du hameau de Bedoa, à quelques kilomètres au Sud-Ouest de Manerinerina. Celui-ci bénéficie d'un contrat de transfert de gestion pour la production de charbon de bois, depuis 2004 (renouvelé en 2007), en application de la loi GELOSE qui favorise la foresterie communautaire à Madagascar. Il est donc contractuellement responsable de l'ensemble du massif délimité et cartographié. La surface délimitée est d'environ 1800 ha, dont environ 1200 ha de savane arborée à prédominance de *Ziziphus mauritiana*. Un quota maximum annuel de production et de commercialisation de 52 tonnes de charbon de bois est autorisé. L'approvisionnement de la centrale en bois de jujubier permettra de donner aux bûcherons une autre possibilité de valorisation, en supprimant le travail nécessaire à la carbonisation mais en rendant le débardage du bois plus difficile, le bois étant plus lourd et volumineux que le charbon.

La productivité du jujubier estimée sur l'ensemble du VOI se situe entre 620 et 790 tMS/an (tonnes de matière sèche par an). Mais le stock de biomasse est très variable dans l'espace, avec des coefficients de variation du volume de bois très importants entre les placettes (112% pour des placettes d'inventaires de 600 m²). D'après les calculs (Voir article 4), la surface requise pour alimenter la centrale avec 300 tMS/an de bois se situe alors entre 257 et 434 ha. La rotation du taillis de jujubier est prévue pour durer dix ans. Il faudra donc, en moyenne, exploiter chaque année, une parcelle d'environ 40 ha et réserver une zone d'environ 400 ha à l'approvisionnement de la centrale.

L'évaluation de la consommation de biomasse ligneuse liée à la fabrication de 52 tonnes de charbon est d'environ 300 tMS par an. Si la consommation en bois de la centrale est limitée à 300 tMS/an, la consommation de biomasse de jujubier par ces deux activités est de l'ordre de 600 tMS/an, chiffre proche du seuil minimal estimé de productivité du milieu. Si la centrale ne fonctionne qu'avec du bois et consomme 400 tMS/an, la consommation pour les deux activités s'élève à environ 700 tMS/an et se rapproche du seuil maximal estimé de productivité.

La réalisation de ces deux activités est donc théoriquement possible sur le VOI. Cependant, en cas de plus forte exploitation du milieu (dépassement des quotas, exploitation illégale), et notamment si la centrale ne consomme que du bois, il sera nécessaire de prélever la biomasse ligneuse destinée à la centrale à l'extérieur du VOI de Bedoa. Par sécurité, il est recommandé de n'utiliser que 300 tMS de bois de *Ziziphus* par an, le complément de biomasse (100 tMS/an) étant constitué de déchets agricoles (coques de maïs, balle de riz). Si les essais de fonctionnement de la centrale, en cours fin 2015, montraient une consommation supérieure à 300 tMS/an, il serait indispensable d'augmenter la part des déchets agricoles, encore largement disponibles dans la région, même s'ils sont de plus en plus recherchés pour la cuisson des briques.

Cependant, en mai 2014, la concurrence entre charbonniers et exploitant de bois pour la centrale, surtout sur les parties les plus accessibles, a mis un doute sur la possibilité d'approvisionnement durable à un prix concurrentiel par rapport au gas-oil. Pour garantir la survie économique de la centrale à biomasse, il faudra trouver le bon taux de mélange entre bois et déchets agricoles quand c'est possible techniquement, puis calculer les besoins minimaux annuels en bois. Il faudra, ensuite, avec l'appui du service des Eaux et Forêts, de la Mairie et de la Gendarmerie, sécuriser une surface suffisante pour assurer cet approvisionnement (environ 400 ha). Cette zone devra être suffisamment proche de la centrale, pour que le coût du transport en charrette laisse le fonctionnement de la centrale à biomasse plus rentable que celui d'une centrale de puissance équivalente fonctionnant au gas-oil.

Lorsque la centrale fonctionnera, il sera possible d'adapter le niveau de prélèvement de bois (durée de rotation et quota) et le type de traitement (taillis régulier ou taillis-sous-futaie) pour, d'une part, fournir une production durable de bois et, d'autre part, limiter l'extension du *Ziziphus* au détriment des pâturages et d'espèces locales, comme le *Terminalia mantaly*.

DÉCHETS AGRICOLES

Les principaux déchets utilisables comme combustibles pour le fonctionnement des centrales électriques à biomasse dans les 6 communes étudiées sont principalement les balles de riz et les rafles de maïs qui sont issus de la première transformation du riz ou du maïs produits localement. D'autres cultures vivrières peuvent aussi constituer un potentiel intéressant de biomasse-énergie, c'est pourquoi nous avons aussi recensé dans chacune des six communes étudiées les autres productions suivantes : cultures de haricots ou d'arachide ou de vigne.

Le tableau suivant résume l'importance relative des principales cultures existantes dans les six communes étudiées.

Tableau 7 : Principales cultures agricoles correspondantes à un potentiel de déchets disponibles au niveau de chaque commune

Communes	Riz	Maïs	Haricot	Arachide	Autre
Ambondromamy	X	XX	X	X	
Manerinerina	X	XX	X	X	
Didy	XX				
Ambohijanahary	XX	X	X	X	
Mahaditra	XX	X	X	X	
Befeta	XX	X	X	X	XX (vigne)

Le tableau 8 présente les principales caractéristiques des biomasses pré-identifiées. Nous avons déterminé le pouvoir calorifique des déchets agricoles identifiés qui dépendent de l'humidité relative et de la masse volumique. Le pouvoir calorifique moyen du bois est de 18,4 MJ/kg.

La balle de riz est très intéressante car elle est de loin le déchet le plus abondant et son taux d'humidité est bas, généralement compris entre 6 et 9%. Un autre avantage est son pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 13,5 MJ/kg. Mais sa densité est de 150 kg/m³, et par rapport au 800 kg/m³ du bois, pour la même quantité d'énergie, le volume de balle de riz est plus de 7 fois plus important que celui du bois. Ceci peut poser des problèmes de transport et de stockage à ne pas négliger. Cependant, elle est produite par des ateliers de décorticage de paddy dont certains seront localisés à faible distance de la centrale électrique qui les alimentera grâce au réseau de distribution électrique.

Tableau 8 : Caractéristiques physiques des déchets agricoles

	Taux d'humidité (en % de la masse)	Pouvoir calorifique inférieur en MJ/kg	Masse volumique apparente en kg/m ³
Paille de riz	7 - 9	10,50	150
Balle de riz	8	13,50	160-180
Tige de maïs	10-14	17,40	71
Rafle de maïs	8 -10	17,30	200 -205
Sarments de vigne	15 -20	16,50	170 - 230
Fane de black eyes	Non disponible (NA)	17,80	80
Fane d'arachide	NA	17,80	80
Coque d'arachide	NA	15,70	NA

Pour montrer l'importance des déchets agricoles et de leur potentiel énergétique, nous avons évalué la quantité d'énergie par type de déchet et par commune. Puis nous avons calculé la quantité équivalente de bois sur la base d'un PCI moyen du bois anhydre de 18,4 MJ/Kg en rapportant par le PCI moyen du bois, qui est de 18,4 MJ/Kg, on peut obtenir le PCI des différents types de déchets en équivalent bois.

**Tableau 9 : Récapitulation de l'équivalent bois
estimé sur la base des quantités par type de déchets agricoles dans les 6 communes étudiées**

	Quantité estimée de biomasses déchets (tonnes)	Equivalent tonnes de bois sec (considéré à 0% d'humidité)
Ambondromamy	3 000	2 300
Manerinerina	34 000	22 000
Didy	18 000	10 000
Ambohijanahary	38 000	22 500
Mahaditra	8 500	5 000
Befeta	15 500	12 000

Contextes socioéconomiques et multiplicité des possibilités des transformations artisanales

Des enquêtes préliminaires ont permis d'identifier les différentes activités des ménages et de retenir une vingtaine de communes comme cibles potentielles d'une ERD biomasse à partir de l'identification précise d'activités consommatrices d'électricité où le coût de production avec des groupes au gasoil est un frein important au développement économique.

Tenant compte des différents critères préfixés (disponibilité en biomasse ligneuse, source d'eau permanente et suffisante, demande des ménages, type de clientèle...), cinq communes situées dans quatre régions différentes de l'Ile ont rempli les conditions d'éligibilité. Ces catégories ont été élaborées dans la mesure où elles sont susceptibles de jouer sur les modalités de l'impact tels qu'identifiés dans les travaux précédents : foresterie et transport en charrette au sein de la filière d'approvisionnement des centrales en biomasse, décortiquerie et activités d'épicerie et de restauration en tant qu'activités potentiellement bénéficiaires d'un basculement vers l'énergie électrique. Dans les localités non encore électrifiées, les dépenses énergétiques se basent surtout sur :

- le gasoil pour les décortiqueries et la plupart des activités artisanales de première transformation des produits agricoles. Les dépaillieurs de riz sont, dans les communes visitées, presque tous entraînés par un moteur diesel (moteur de tracteur, moteur de camion, etc.) ;
- l'essence pour les petits groupes électrogènes utilisés pour la recharge des batteries, pour l'éclairage et la radio ;
- le pétrole, les bougies et les torches électriques pour éclairage ;
- le charbon ou le bois de chauffe pour la cuisson des aliments.

Les activités artisanales existantes ou potentielles étaient évaluées en fonction des productions agricoles existantes (en tenant compte des potentiels de croissance), mais aussi des ressources naturelles renouvelables disponibles et la plupart du temps peu ou pas valorisées faute de possibilité de transformation.

Dans les quatre différentes régions, la multiplicité des communes présélectionnées a permis de découvrir la grande diversité des contextes socioéconomiques et la variété surprenante des possibilités de transformations artisanales : productions agricoles, productions pastorales, produits forestiers, produits de la pêche, etc.

La production d'ERD est un facteur de développement économique. En amont avec la collecte de biomasse pour l'alimentation du foyer de combustion et le bûcheronnage. En aval grâce à la disponibilité d'électricité à faible coût permettant le développement d'activités de décortilage, de petites unités d'artisanat, de transformation, etc. Ce double facteur de richesse est propre à l'ERD biomasse et n'existe pas pour les systèmes hydrauliques, éoliens ou solaires. Sur le plan social, l'électricité produite permet une amélioration du confort des ménages, de la qualité des services publics.

L'électricité obtenue par l'ERD biomasse est bon marché par rapport à l'ERD thermique, 700 Ar/kWh contre 1500 à 2000 Ar/kWh. On attend donc un impact de l'électrification sur le développement local et la réduction de la pauvreté notamment par l'augmentation du revenu des paysans. Pour apprécier les effets du projet, une évaluation de l'impact de l'ERD sur la réduction de la pauvreté a été réalisée. Une base de données de la situation avant l'installation de l'équipement a été constituée au cours de l'année 2012. Au cours de cette étude, nous avons effectué :

- un recensement général des ménages résidents dans les hameaux électrifiés et dans un hameau qui ne sera pas électrifié,
- une enquête détaillée sur le revenu et consommation des ménages-échantillons pris au hasard parmi l'ensemble des ménages recensés,
- une analyse socioéconomique approfondie des données collectées pour déterminer la situation de référence du niveau de pauvreté de la zone au démarrage de l'unité de cogénération.

Pour les consommateurs domestiques, les artisans (dépaillage et décortilage du riz) et les petits commerces et aux besoins des services publics et des ménages (éclairage public et domestique, ...) la consommation mensuelle en électricité est mesurée grâce à un compteur individuel permettant aux abonnés de gérer leur consommation.

Le choix final des communes cibles

Le choix final des communes ciblées pour la réalisation des investissements d'électrification rurale décentralisée par cogénération fut discuté, validé et justifié entre tous les partenaires du projet et l'ADER.

Tableau 10 : Les communes cibles du projet BIOENERGELEC

Récapitulation des choix des communes proposées par région	
Anosy	Ifarantsa
Alaotra-Mangoro	Didy, Ambohijanahary
Haute Matsiatra	Mahasoabe, Befeta
Boeny	Manerinerina

Tableau 11 : Explications des choix des communes

Diagnostic global par commune	
Ifarantsa	<p>Un pari sur l'avenir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des forêts d'Eucalyptus à gérer pour la production durable de bois d'œuvre • Une demande potentielle en électricité artisanale faible mais des possibilités de développement économique rapide • Le pari d'une transformation artisanale locale du bois d'œuvre malgré la faiblesse de la demande à Fort-Dauphin
Didy	<ul style="list-style-type: none"> • Des sources alternatives de biomasse disponibles : <ul style="list-style-type: none"> - Bois énergie de plantation - Balle de riz • Potentiel en déchets de bois d'œuvre • Une dynamique de développement local remarquable • Un réseau semi-formel de distribution électrique existant • Nécessité de formulation de projets artisanaux utilisant l'électricité
Ambohijanahary	<ul style="list-style-type: none"> • Une ressource en balle de riz surabondante • Une demande artisanale potentielle en électricité au-delà des capacités de production de la centrale biomasse en électricité • Une commune qui détient déjà un groupe électrogène • Une commune clé dans le schéma d'électrification du lac Alaotra préparé par l'ADER
Mahasoabe	<p>Scierie du Betsileo :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un opérateur industriel intéressé • Une demande en énergie électrique assurée • Un approvisionnement en biomasse fondé sur les déchets de sciage des bois d'œuvre de pin • L'électrification d'un hameau non électrifié en lisière de la forêt
Befeta	<ul style="list-style-type: none"> • Des ressources en biomasse (plantations d'Eucalyptus) apparemment suffisantes (à vérifier) • Une demande artisanale potentielle en électricité insuffisante et nécessité de formulation de projets artisanaux utilisant l'électricité
Manerinerina	<ul style="list-style-type: none"> • Des sources alternatives de biomasse disponibles : <ul style="list-style-type: none"> - Des ressources en biomasse (savanes à <i>Ziziphus</i>) apparemment suffisantes (vérifier le quota d'exploitation annuel effectivement disponible) - Des ressources en biomasse (balle de riz et déchets agricoles) disponibles • Une dynamique de développement local • Existence d'un réseau et d'une unité d'électrification fondée sur un groupe électrogène (en cours d'installation) • Nécessité de formulation de projets artisanaux utilisant l'électricité

Tableau 12 : Elimination de la commune d'Amboasary

Raisons	
Amboasary	<ul style="list-style-type: none"> • Commune déjà électrifiée (Jirama) • Impacts de la crise économique sur l'approvisionnement en biomasse : <ul style="list-style-type: none"> - Arrêt des replantations de sisal - Réduction d'activité des sisaliers et conflit social latent • Faiblesse de la demande artisanale • Faible impact prévisible sur la réduction de la pauvreté

Travaux complémentaires suite à la sélection d'une commune

Des travaux complémentaires devaient s'exécuter en juillet et août 2009 pour finaliser dans les meilleures conditions le choix des communes sélectionnées et pour préparer la phase de réalisation de l'investissement et de mise en place des unités de cogénération.

Les besoins d'informations complémentaires concernaient principalement :

- l'évaluation des ressources en biomasse et leur cartographie pour chaque commune sélectionnée,
- l'identification des techniques à mettre en œuvre pour leur mobilisation et l'approvisionnement de la centrale,
- la réalisation d'une évaluation prévisionnelle plus précise de la demande potentielle solvable en électricité, tant domestique qu'artisanale, en allant jusqu'à l'élaboration de fiches projets au niveau de chaque commune pour la création ou le développement d'activités artisanales.

Il était aussi demandé de compléter les travaux préliminaires déjà réalisés pour la définition des réseaux à prévoir et à installer, de même que les études préliminaires et la validation du choix du site d'installation de la centrale de cogénération dans chaque commune.

En outre, l'étude complète de la commune de Mahazoarivo identifiée en cours de mission dans la Haute Matsiatra devait être réalisée in extenso. Pour chacun de ces thèmes la mission rédigea les Termes de référence des travaux à réaliser selon les deux récapitulatifs ci-dessous.

EVALUATION COMPLÉMENTAIRE DES RESSOURCES EN BIOMASSE DE CHAQUE COMMUNE

La mission a recommandé de procéder, dans chaque commune retenue, à une évaluation plus précise par télédétection et une cartographie des ressources en biomasse disponibles dans la commune. Elle devait être complétée par une évaluation sur terrain des volumes effectivement disponibles pour chaque massif et chaque ressource. Par ailleurs la détermination des régimes fonciers de chaque massif et de chaque ressource devait être précisée.

Une autre étude devait déterminer les possibilités techniques et économiques de mobilisation de chaque ressource de biomasse selon la localisation des différents massifs. Ainsi, les modalités techniques et organisationnelles pour l'approvisionnement de la centrale de cogénération par chacune des ressources en biomasse disponibles dans chaque commune devaient être explorées. Ces travaux devaient déboucher sur l'établissement de structures de coûts et de prix prévisionnels pour les différentes ressources en biomasse disponibles.

EVALUATIONS COMPLÉMENTAIRES DANS CHAQUE COMMUNE : DEMANDE POTENTIELLE EN ÉLECTRICITÉ

Dans chaque commune sélectionnée, la mission recommandait de préciser la demande potentielle en électricité déjà ébauchée. Il s'agissait de préciser la demande potentielle solvable en électricité domestique, nombre d'abonnés potentiels et solvabilité, et la demande artisanale potentielle. Pour ce dernier, nous avons élaboré avec les communes des fiches projets pour la création d'activités artisanales (activités existantes, activités possibles ou potentielles – potentialités humaines existantes, capacités d'investissement, etc.).

Les réalisations du projet BIOENERGELEC dans les communes cibles

Au-delà du choix des communes, la réussite du projet BIOENERGELEC fut largement compromise par la déficience du fournisseur de matériel sélectionné suite à un appel d'offres international réalisé suivant les règles et procédures définies par l'Union Européenne. Les difficultés concrètement rencontrées n'ont pas été identifiées par l'Union Européenne lors de l'évaluation.

En effet, la proposition du Cirad et de ses partenaires a été déposée en octobre 2006 à Bruxelles conformément aux lignes directrices de l'appel à proposition. Le 30 novembre 2006, le Cirad recevait une correspondance de l'UE confirmant bonne réception de cette proposition et du début du processus de sélection. Le 3 mai 2007, le Cirad recevait l'information que la proposition a été retenue sous réserve de compléments d'information d'ordre administratif.

Concernant le fournisseur des équipements, dès l'offre initiale du CIRAD déposée en octobre 2006, les fournisseurs ont déjà été identifiés : le brésilien ENGETHERM (devenu par la suite PSI) pour le moteur, et le malgache BIONERR pour assurer les installations. C'est uniquement après l'approbation de la proposition, lors des négociations contractuelles, que les conditionnalités du PRAG (guide Pratique des procédures contractuelles dans le cadre des actions extérieures/FED) et du Manuel de Gestion du Cycle de Projet/Approche, cadre logique de la CE, se sont imposées et qu'il a fallu concrètement supprimer toute référence à ces deux partenaires dans l'annexe A de manière à laisser le champ libre à l'appel d'offres international. Règlementation obligatoire du fait du montant envisagé du marché à 1,6 millions d'euros.

Ce travail préparatoire fut réalisé sur demande de l'UE après approbation de la proposition en mai 2007 et la signature du contrat le 11 décembre 2007.

Avec le recul, on peut supposer que ces difficultés sont liées à la modification de la procédure. En effet, pour lancer l'appel d'offres dans le respect des conditions du PRAG, il était nécessaire de formuler auprès de la CE une requête pour que le brésilien PSI soit accepté pour fournir les moteurs vapeurs sachant qu'aucun autre fournisseur ne disposait de matériel similaire (moteur vapeur vertical de 70 Kw) que ce soit en Europe ou dans les pays ACP. Le dossier d'AO complété fut achevé fin 2009 et l'AO lui-même a été lancé en janvier 2010 pour ensuite être déclaré infructueux en avril 2010 du fait qu'une seule offre avait été déposée (AGMIN Italy).

Après accord de la DUE, pour éviter de relancer un deuxième AO, une négociation avait été engagée avec AGMIN qui s'est conclue par le contrat ADER-AGMIN de septembre 2011 et concrétisée par le virement de ADER à AGMIN du 9 décembre 2011.

Force est de constater que si la proposition initiale avait été validée, à l'image de ce qui avait été fait pour le projet GESFORCOM où ENGETHERM (PSI) avait été considéré par l'Union Européenne comme partenaire et BIONERR sous-traitant dans le cadre d'une proposition de la ligne budgétaire Forêt Tropicale de 2005, les choses se seraient déroulées différemment. La procédure de ligne budgétaire se serait prêté certainement mieux à une telle proposition qu'à la procédure FED.

C'est bien après, lors d'une mission à Bruxelles pour le projet GESFORCOM, que le Cirad a été informé de manière non officielle qu'à l'époque les problèmes se situaient au niveau des garanties d'engagement financier du co-financeur ADER en même temps partenaire technique et des axes techniques de la proposition (ERD appuyée sur la technologie du moteur vapeur).

¹ Quelques jours avant la date de dépôt des offres en avril 2010, la société BIONERR qui avait été sollicitée pour déposer une offre a dû, renoncer en raison de son incapacité à présenter la garantie de bonne exécution de 10 % du montant du marché. Pour répondre à cet Appel d'offres, la société BIONERR s'était associée avec la société PSI.

Mais au final, ce sont bien les contraintes financières qui auront été le principal obstacle au bon déroulement du projet. Il n'était certes pas possible de trouver « sur catalogue » un moteur de ce type qui répondait exactement à la demande et à ses capacités financières, mais financièrement, l'investissement tout compris, reste dans un ordre de grandeur similaire aux autres ENR. Plus encore, la durabilité est bien supérieure et la capacité des gestionnaires d'assurer son entretien et sa maintenance a été démontrée.

Comme résultat, la mise en place des unités de cogénération n'a été effective que dans deux communes :

- Didy (Alaoatra Mangoro),
- Marinerinerina (Boeny).

Bibliographie

Bertrand A., Chaix G., Pinta F., 2009. Rapport de missions pour le choix des communes cibles. 6 au 21 mai 2009, 3 au 13 juin 2009 et 13 au 26 septembre 2009. 172 p.

Razafindrianilana N., Andriambolanoro D. ; 2010 ; Durabilité de la gestion de *Ziziphus* sp. Pour l'exploitation charbonnière dans le cadre des transferts de gestion des ressources naturelles renouvelables. Cas du contrat de transfert de gestion d'Ambatoloaka, district d'Ambato Boeny, région Boeny ; in Montagne, P., Razafimahatratra, S., Rasamindisa, A., Crehay, R. ; ARINA, le charbon de bois à Madagascar : entre demande urbaine et gestion durable ; CITE, Antananarivo, 23 p.

Approvisionnement en biomasse ligneuse d'une centrale ERD à partir d'un massif à *Ziziphus mauritiana* : Problèmes et questions en suspens

Pierre LEPINAY, Pierre MONTAGNE, Norbert RAZAFINDRIANILANA,
Daniel ANDRIAMBOLANORO, Serge RAZAFIMAHATRATRA,
Philippe DELEPORTE, Régis PELTIER

Introduction

L'objectif du projet BIOENERGELEC est l'installation de centrales thermoélectriques biomasse vapeur pour assurer l'électrification rurale décentralisée de cinq communes rurales situées dans quatre régions de Madagascar (BIOENERGELEC 2009). Ces travaux sont réalisés par le CIRAD en relation avec ses partenaires de la recherche (FOFIFA) et du développement (ONG PARTAGE). Il est prévu que l'approvisionnement de ces centrales sera à base d'un mélange de bois et de déchets agricoles ou forestiers. Pour quatre d'entre elles, le bois proviendra de plantations d'Eucalyptus. À Manerinerina, la centrale qui a été installée début 2014 sera approvisionnée par du bois de *Ziziphus mauritiana* (jububier) (Cf. Feuillet central, page E, photo 3).

Déjà, en 1950, A. Aubreville estimait que cette espèce africaine sahélienne avait été naturalisée très anciennement à Madagascar où elle envahissait les terrains dégradés. À la suite de A. Chevalier, il avançait que ces jububiers furent cultivés, dans un lointain passé, alors même que la culture des céréales n'était pas partout réalisée, cette domestication très ancienne explique leur vaste dispersion à travers le Monde (Asie tropicale, Indo-Malaisie, Océanie, Australie, Mascareignes, Caraïbes, etc.). Cette dispersion et le caractère souvent invasif de l'espèce sont maintenant universellement reconnus (ISSG, 2007).

Dans la région Boeny, Carro (2011) signale que le jububier s'étend de façon importante depuis les années 1970. C'est un arbre de petite taille qui colonise les pâturages et les savanes via une dispersion très efficace par endozoochorie (Prasad et al., 2004), favorisée par l'importance du pâturage des zébus dans ces formations végétales (Cf. Feuillet central, page E, photo 2). Le jububier rejette de souche, ce qui lui permet de se maintenir durablement là où il s'est installé. La surface importante couverte par les taillis de jububier (Cf. Feuillet central, page E, photo 3) offre ainsi une source de biomasse importante pour les populations locales (Durrieu, 2007 ; GESFORCOM, 2008).

L'approvisionnement de la centrale de Manerinerina en biomasse a été organisé en relation avec le Vondron'Olona Ifotony (VOI) de Bedoa (groupement de bûcherons de la forêt située autour du hameau de Bedoa, à quelques kilomètres au sud-ouest de Manerinerina). Celui-ci bénéficie depuis 2004 d'un contrat de transfert de gestion pour la production de charbon de bois en application de la loi Gestion

Localisée Sécurisée (GELOSE) qui favorise la foresterie communautaire à Madagascar. Il est donc contractuellement responsable de l'ensemble du massif délimité et cartographié. Ce contrat a été renouvelé en 2007 par l'administration régionale chargée des forêts. La surface délimitée est de 1851 ha au sud-ouest de la commune, dont 1185 ha de savane arborée à prédominance de *Ziziphus mauritiana*. Un quota maximum annuel de production et de commercialisation de 52 tonnes de charbon de bois est autorisé et permet une valorisation économique de cette ressource renouvelable. L'approvisionnement de la centrale en bois de jujubier permettra de donner aux bûcherons une autre possibilité de valorisation, en supprimant le travail nécessaire à la carbonisation, mais en rendant le débardage du bois plus difficile - le bois étant plus lourd et volumineux que le charbon.

La consommation estimée de la centrale en 2011 est de 400 tonnes de biomasse ligneuse sèche par an (Randrianjafy et al., 2011). Faute de données suffisamment fiables, ces mêmes auteurs avaient estimés, «à dire d'experts», la productivité moyenne des peuplements de jujubier de la zone à 3 m³/ha/an et la surface des peuplements de jujubiers du VOI de Bedoa à 750 ha. Ils en avaient déduit que la productivité moyenne du massif pouvait être estimée à 2 250 m³/an. À leur avis, ceci était suffisant pour couvrir, d'une part le quota de charbon (4000 sacs de 13 kg = 52 T), soit l'équivalent de 312 T de bois ou de 480 m³/an de bois ; et, d'autre part, les besoins théoriques maxima de la centrale, si elle ne marchait qu'au bois, à savoir 400 T/an, ou environ 600 m³/an de bois (environ 1000 stères).

De son côté, l'ONG PARTAGE estimait les stocks de biomasse entre 11 et 45 m³/ha. Toutefois, les inventaires présentaient un nombre de placettes trop faible et donc une incertitude trop importante pour être précis, de l'ordre de ± 40 % en volume). Un rapport plus récent estimait ce stock à 17,4 m³/ha en moyenne sur la zone (Durrieu, 2007), ce stock de biomasse étant très variable dans l'espace à fine échelle, avec des coefficients de variation du volume de bois très importants entre les placettes d'inventaires (112 % pour des placettes de 600 m²).

Pour préciser ce potentiel de production en biomasse bois, une étude a été réalisée en 2012 (Lepinay, 2012 ; Lepinay et al., 2013). Le but était de déterminer si la surface allouée à la centrale serait suffisante et si la concurrence entre les usages de biomasse de jujubier (entre charbon de bois et bois) risquait de porter préjudice à l'alimentation en biomasse de la centrale. Il s'agissait également de déterminer le quota annuel de prélèvement du bois de jujubier qui correspondrait à la potentialité de production des peuplements actuels.

Matériels et méthodes

La première étape de cette étude fut de cartographier les peuplements de jujubiers à partir d'images satellitaires.

Il fallut ensuite déterminer une équation allométrique (tarif de biomasse) pour calculer la masse de bois d'un individu à partir de mesures simples de terrain. Pour cela, il a été nécessaire de différencier les individus de franc-pied des individus issus de cépées afin de déterminer si ce facteur avait un impact significatif sur le tarif. Les caractéristiques de chaque individu ont été mesurées et toutes ses tiges ont été abattues puis billonnées et pesées à l'aide de dynamomètres. Les premières mesures ont montré que les meilleurs tarifs étaient des tarifs par individus, qui font le lien entre la surface terrière de l'ensemble des tiges de l'individu ou de la cépée, et la biomasse. Ces tarifs furent utilisés par la suite pour les calculs de stock et ceux de productivité. Lors de la réalisation de ces tarifs, une soixantaine d'échantillons de bois ont été récoltés à la base des tiges coupées. L'étude de ces échantillons a permis l'étude des caractéristiques du bois de jujubier.

L'inventaire de biomasse fut réalisé selon un inventaire systématique non stratifié basé sur un maillage unique de placettes de 600 m² sur lesquelles toutes les tiges d'élément ligneux de circonférence supérieure à 7 cm ont été mesurées. Ce choix de la circonférence de pré comptage correspond à la circonférence minimale à laquelle un charbonnier exploite une tige pour l'intégrer à la meule de charbon.

L'estimation de la productivité du milieu faisait face à plusieurs problèmes de méthode. Il existe encore peu de taillis de jubbiers dont l'âge de coupe est connu avec certitude, dans la région, et donc peu de parcelles sur lesquelles mesurer cette productivité. De plus, la zone prévue pour l'approvisionnement de la centrale était encore un peuplement de francs-pieds. Il n'était donc pas possible d'évaluer la productivité de taillis directement sur la zone. La mesure de productivité a donc été réalisée sur la parcelle voisine dans le VOI de Bedoa. Sur cette parcelle, la production de charbon est régulée depuis 2006. Il est donc théoriquement possible d'évaluer la productivité moyenne du taillis sur les espaces déjà coupés dans le VOI.

La rotation du taillis de jubbier est prévue pour durer environ dix ans (Durrieu, 2007). Du fait de l'absence de taillis âgés de plus de six ans dans le VOI de Bedoa, des données supplémentaires ont été recueillies dans le VOI Ambatoloaka à Tsaramandroso. Ces peuplements de taillis plus âgés permettent de mieux calibrer le modèle à 10 ans. Avec les données de Manerinerina et celles de Tsaramandroso, ce sont 313 cépées de jubbier qui ont été mesurées.

Une fois le modèle réalisé, celui-ci fut utilisé pour prédire la production future des jubbiers relevés lors de l'inventaire de biomasse sur la parcelle d'approvisionnement. Il fut ainsi possible de modéliser la production future du taillis de jubbier sur chacune des placettes de l'inventaire.

Résultats

SURFACE DES PEUPELEMENTS

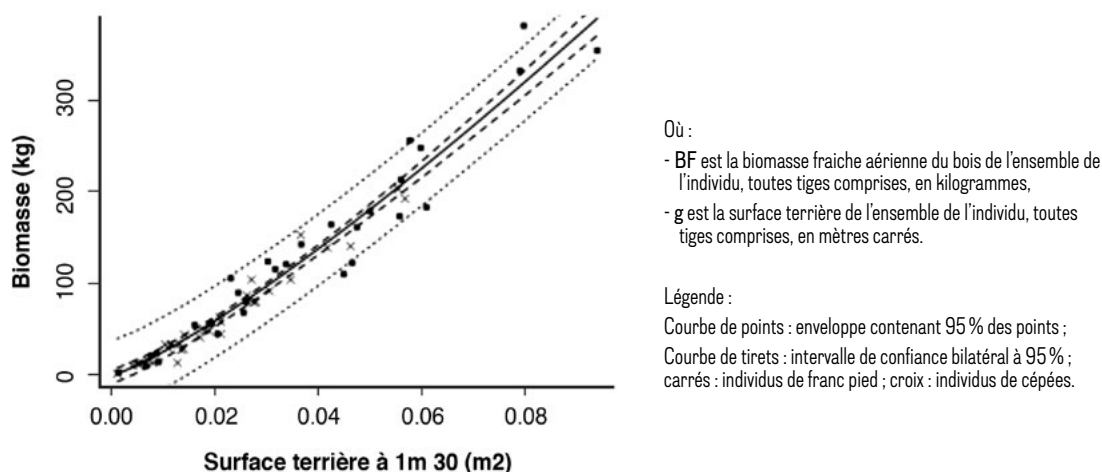
Sur la base des informations disponibles en 2012, la surface des peuplements de jubbier, pris en compte lors de l'étude car jugés suffisamment denses, a été estimée à 600 ha sur le VOI de Bedoa.

Tarif de biomasse

Les tarifs de biomasse les plus précis, que ce soit pour les cépées ou pour les franc-pieds, prennent en compte la surface terrière à 1,30 m de l'ensemble de l'individu (Cf. Feuillet central, page E, photo 4). Les tarifs réalisés pour chacune de ces catégories sont très proches. Un tarif de biomasse commun est donc construit à partir de l'ensemble des données disponible :

$$BF (kg) = 6910 \times g (1m\ 30)^{1,22} \quad (p < 0,001)$$

Figure 1 : Tarif de cubage construit à partir du jeu de données de Manerinerina



Données xylogologiques

À partir des échantillons de bois, l'étude des caractéristiques de base du bois de jujubier donne les résultats suivants, valables pour du bois de rejet (Cf. Feuillet central, page E, photo 5) d'une circonférence inférieure à 50 cm, en considérant une humidité sèche de 12 % :

Tableau 1 : Étude des caractéristiques de base du bois de jujubier

	Moyenne	Incertitude bilatérale à 95 %
Masse volumique fraîche (kg.m ⁻³)	969	13
Rapport masse sèche/masse fraîche	0,774	0,007
Densité	0,750	0,013

Résultats d'inventaire

Après réalisation des placettes, il apparaît que seulement une partie de la parcelle est réellement occupée par le jujubier. Les autres parties sont soit couvertes de forêts denses ou de forêts alluviales (Cf. Feuillet central, page E, photo 6) où le jujubier est apparemment absent, soit totalement dépourvues d'arbres dans le cas de clairières ou de zones emblavées.

Sur l'ensemble des 126 placettes, il apparaît une très forte disparité du stock. La moyenne est de 4,9 tonnes de matière fraîche (tMF) par hectare, avec un écart type de 6,4 tMF/ha soit donc un coefficient de variation de 130 %.

Résultats de productivité

Le modèle de production individuel est donc construit à partir des données des cépées du peuplement voisin. Le modèle logarithmique qui correspond au mieux à la production réelle des cépées est le suivant :

$$\ln(g_{130}) = -3,07 + 0,690 \times \ln(g.souche) + 0,929 \times \ln(\hat{age}) - 0,312 \times Sely + 0,240 \times \ln(Tsamaranja) \quad (p < 0,001)$$

Où :

- g_{130} est la surface terrière prédite de l'ensemble des tiges de la cépée,
- $g.souche$ est la surface de la section de la souche,
- \hat{age} est l'âge de la cépée, c'est-à-dire le temps écoulé depuis la dernière coupe de taillis,
- $Sely$ et $Tsamaranja$ sont des facteurs de présence-absence d'autres espèces ou groupes d'espèces ligneuses sur la placette où la cépée a été relevée, à savoir respectivement *Grewia* spp. et *Cordia myxa* L. Ils valent un en cas de présence de l'espèce, zéro sinon.

Une fois le modèle transformé, il s'écrit de cette manière :

$$g_{130} = 0,0464 \times g.souche^{0,690} \times \hat{age}^{0,929} \times e^{-0,312 \times Sely + 0,240 \times Tsamaranja} \quad (p < 0,001)$$

Ce modèle permet donc de prédire la surface terrière d'une cépée de jujubier à un âge donné en fonction de la taille de sa souche et des conditions du milieu.

DISCUSSION

Limites du modèle

Ce modèle est assez simple et ne reflète pas la grande diversité de facteurs qui influence la croissance du jujubier : conditions pédologiques, concurrence entre individus pour la lumière, pour l'eau, concurrence avec d'autres essences, microtopographie, abrouissement, maladies, vieillissement de la souche après de multiples exploitations, mais aussi caractéristiques génétiques de chaque jujubier. Cet ensemble de freins est inhérent à la réalisation d'une étude de productivité qui se base sur la production de chaque cépée.

Une étude sur des taillis d'âge de coupe bien réglés serait beaucoup plus précise. Cela permettrait d'étudier la production par unité de surface, de multiplier les données, et de disposer d'un jeu de données plus équilibré. Mais cela implique l'organisation d'un réseau d'étude difficile à mettre en place, dans des peuplements où la mise sous cloche modifie fortement la dynamique réellement en jeu (Clément, 1982).

Conséquences pour l'usage des ressources dans le VOI de Bedoa

À partir du modèle construit, il est possible de déduire la surface terrière d'une cépée de jujubier N années après son recépage. En transformant cette estimation via le tarif de biomasse, il est donc aussi possible d'évaluer la production en biomasse de cette future cépée. La productivité de l'ensemble du peuplement de jujubier sur le VOI (d'une surface estimée en 2012 à 600 ha) peut alors être estimée en appliquant ce calcul à l'ensemble des cépées inventoriées, et en interpolant ce résultat entre les placettes d'inventaire. La productivité ainsi estimée sur l'ensemble du VOI se situe entre 620 et 790 tMS par an. La surface requise pour alimenter la centrale avec 300 tMS/an de bois se situe alors entre 257 et 434 ha.

L'évaluation de la consommation de biomasse ligneuse liée à la fabrication de charbon est de 312 tMS par an (Cf. Feuillet central, page E, photo 7). Il faut noter que cette consommation est limitée grâce à l'adoption de techniques de carbonisation améliorée au sein du VOI (Montagne et *al.*, 2010). Alors, si la consommation en bois de la centrale est limitée à 300 tMS/an (Cf. Feuillet central, page E, photo 8), la consommation de biomasse de jujubier par ces deux activités atteint 612 tMS/an, chiffre proche du seuil minimal estimé de productivité du milieu. Si la centrale ne fonctionne qu'avec du bois et consomme 400 tMS/an, la consommation pour les deux activités s'élève à 712 tMS/an et se rapproche du seuil maximal estimé de productivité.

La réalisation de ces deux activités est donc théoriquement possible sur le VOI. Cependant, en cas de plus forte exploitation du milieu (dépassement des quotas, exploitation illégale), et notamment si la centrale ne consomme que du bois, il sera nécessaire de prélever la biomasse ligneuse destinée à la centrale à l'extérieur du VOI de Bedoa.

Par sécurité, il sera recommandé de n'utiliser que 300 tMS de bois par an pour la centrale, le complément de biomasse (100 tMS/an) étant constitué de déchets agricoles (coques de maïs, balle de riz). Si les essais de fonctionnement de la centrale, prévus à partir de mi 2015, montraient une consommation supérieure à 300 tMS/an, il serait indispensable d'augmenter la part des déchets agricoles, encore largement disponibles dans la région, même s'ils sont de plus en plus recherchés pour la cuisson des briques.

Cependant, en mai 2014, la concurrence entre charbonniers et exploitant de bois pour la centrale s'exerçant dans les parties les plus facilement accessibles, a mis un doute sur la possibilité d'approvisionnement durable de la centrale à un prix concurrentiel par rapport au gas-oil. Pour garantir la survie économique de la centrale à biomasse, il faudra assurer son démarrage, trouver le bon taux de mélange entre bois /déchets agricoles (et éventuellement brisures de charbon, si cela est techniquement possible), puis calculer les besoins minimaux annuels en bois de la centrale. Il faudra, ensuite, avec l'appui du service des Eaux et Forêts, de la Mairie et de la Gendarmerie, sécuriser une surface suffisante pour assurer cet approvisionnement. Cette zone devra être suffisamment proche de la centrale, pour que le coût du transport en charrette laisse le fonctionnement de la centrale à biomasse plus rentable que celui d'une centrale de puissance équivalente fonctionnant au gas-oil. Il pourra être vérifié que cette surface définie suffise à produire la biomasse nécessaire, en y réalisant un inventaire et en y appliquant le calcul précédent.

Conclusion

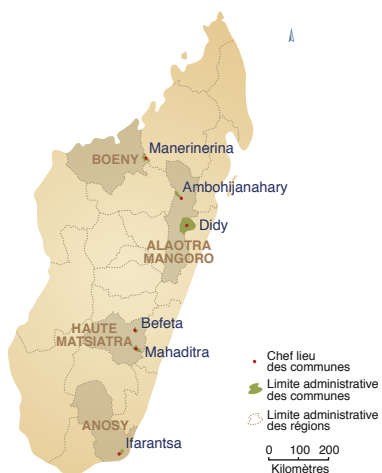
Les données de disponibilité établies lors de cette étude sont inférieures aux estimations qui ont servi lors de la définition du projet. Les quantités de biomasse nécessaires à l'approvisionnement durable de la centrale, ajoutées aux quantités requises pour la production du quota de charbon de bois par le VOI sont proches du plafond de production du milieu. Toutefois, la productivité du taillis présent dans le site du VOI devrait suffire si l'exploitation du bois pour la centrale n'excède pas les 300 tonnes de matière sèche par an, et si l'exploitation reste limitée au quota de production de charbon de bois par la méthode de carbonisation améliorée dans le reste du VOI.

Lorsque la centrale fonctionnera, il sera possible d'adapter le niveau de prélèvement de bois (durée de rotation et quota) et le type de traitement (taillis régulier ou taillis-sous-futaie) pour, d'une part, fournir une production durable de bois et, d'autre part, limiter l'extension du *Ziziphus* au détriment des pâturages et d'espèces locales, comme le *Terminalia mantaly*.

Mais l'incertitude demeure très importante sur les données établies. La forte variabilité intrinsèque du milieu et l'absence de suivi sur le long terme de la production de ces taillis de jujubier réduisent la précision de ces résultats. Il s'agirait pourtant d'un prérequis très utile pour la gestion des taillis de *Ziziphus*, qui sont des sources importantes de biomasse ligneuse dans le Boeny.

Bibliographie

- Aubreville A., 1950. Flore forestière soudano-guinéenne. Société d'éditions maritimes et coloniales. Paris, France, 523 p.
- Association PARTAGE, 2008. Schéma d'aménagement forestier intercommunal du Boény (SAFIBO). Antananarivo : projet GESFORCOM.
- CIRAD, Association PARTAGE, FOFIFA, ADER, 2009 : Biomasse énergie pour la réduction de la pauvreté par l'électrification rurale décentralisée, Un projet pilote pour six communes de Madagascar, Antananarivo. Projet BIOENERGELEC.
- Carro A., 2011. Analyse des effets du transfert de gestion de la forêt sur le système agricole à Madagascar. AgroParisTech, Paris, France.
- Clément J., 1982. Estimation des volumes et de la productivité des formations mixtes forestières et graminéennes tropicales. Données concernant les pays de l'Afrique francophone au nord de l'Equateur et recommandations pour la conduite de nouvelles études. Bois et forêt des Tropiques, (198), p.35-58.
- Durrieu de Madron L., 2007. Elaboration des plans d'aménagement forestiers communautaires pour la production de bois énergie et de raphia et leur intégration dans des plans d'aménagement forestier communaux des communes d'intervention dans le Boeny. Antananarivo : Durrieu de Madron.
- ISSG, 2007. ISSG Database : Ecology of *Ziziphus mauritiana*. Invasive Species Specialist Group (ISSG). <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=214> [Consulté septembre 2, 2012].
- Lepinay P., 2012. Evaluation de la disponibilité en biomasse dans une savane arborée à jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) du district d'Ambato-Boeny, Madagascar. Mémoire d'ingénieur forestier GEEFT, AgroParisTech, Montpellier, France. 67 p.
- Lépinay P., Peltier R., Montagne P., Razafimahatratra S., Razafindrianilana N., Andriambolanoro D. et Deleporte P., 2013. *Ziziphus mauritiana* : une plante invasive du nord-ouest de Madagascar, source de richesse. Colloque régional sur les espèces exotiques envahissantes des îles du sud-ouest de l'océan indien, Antananarivo, Madagascar, 9 et 10 Octobre 2013. 8 p.
- Montagne P., Razafimahatratra S., Rasamindisa A. & Razafindravola J.V., 2010. Arina : le charbon de bois à Madagascar : entre demande urbaine et gestion durable, Antananarivo : CIRAD.
- Prasad S., Chellam R., Krishnaswamy J., and Goyal S. P.. 2004. Frugivory of *Phyllanthus emblica* at Rajaji National Park, north-west India. Curr. Sci. 87 : 1188-1190.
- Randrianjafy H., Razafindrianilana N., Chaix G., Peltier R., 2011. Compte-rendu de mission : Contribution à l'élaboration d'un schéma communal d'approvisionnement en biomasse ligneuse pour les centrales à vapeur thermoelectriques des communes de Fanjahira (Boeny), Mahaditra et Befeta (Haute Matsiatra), Didy (Haut Mangoro), Manerinirina (Boeny), afin de déterminer les conditions d'approvisionnement en biomasse, notamment ligneuse. Projet Bioenergelec-Fofifa-Cirad, Antananarivo, Madagascar, 28 p.



Carte 1 : Les communes cibles.



Carte 2 : Commune rurale de Befeta.



Carte 3 : Commune rurale de Didy.



Carte 4 : Commune rurale d'Ifarantsa.



Carte 5 : Commune rurale de Mahaditra.



Carte 6 : Commune rurale de Manerinerina.

CARTES DE LOCALISATION DES SITES D'INTERVENTION



Photo 1 : Centrale hydraulique de la commune d'Andriba.



Photo 2 : Groupe électrogène gasoil, commune Manerinerina.



Photo 3 : Centrale biomasse-vapeur, commune Didy.



Photo 4 : Panneaux solaires, Ivovona, commune Ramena, région DIANA.



Photo 5 : Centrale éolienne, Ivovona, commune Ramena, région DIANA.

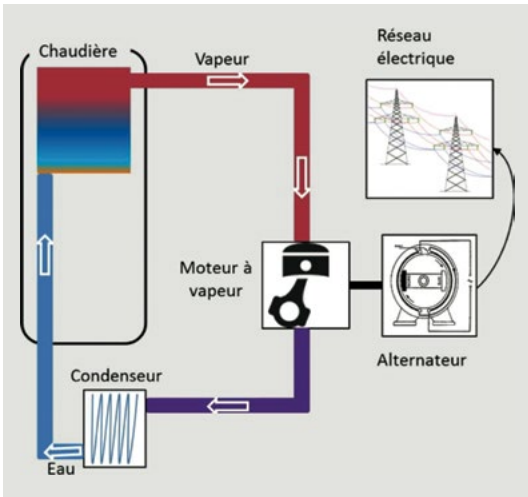


Figure 1 : Schéma général d'un ensemble moteur à vapeur.

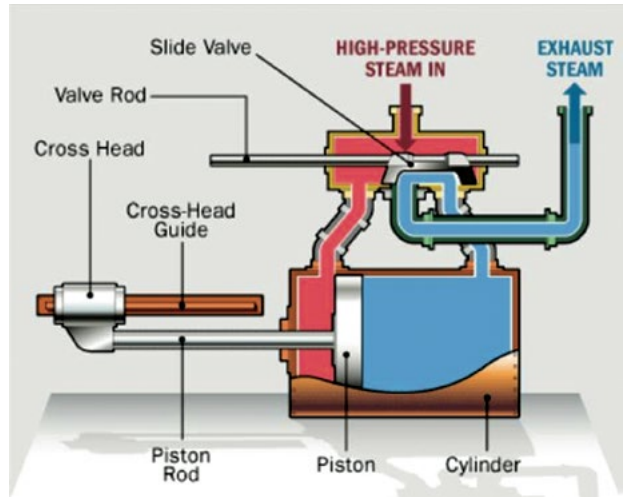


Figure 2 : Schéma de principe du moteur à vapeur (Marshall Brain, 2000).

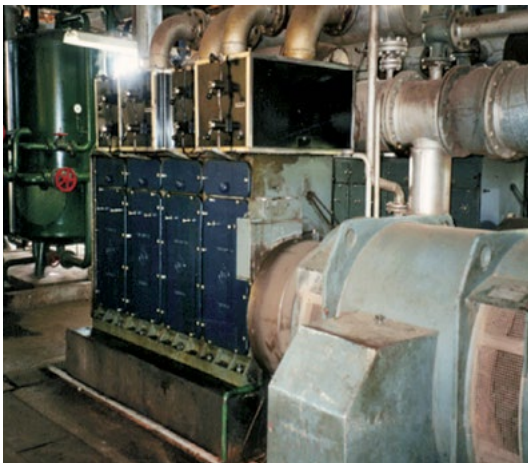


Photo 1 : Moteur à vapeur Spilling - 600 kW en RCA.



Photo 2 : Moteur Mernak (Brésil) en fonctionnement.



Photo 3 : Test moteur à vapeur PSI à Cachoeira do Sul (Brésil).



Photos 4 et 5 : Chaudière en construction avec détail des tubes de fumée. Filtration de l'eau alimentant la chaudière à Andaingo.





Photo 6 : Foyer et chaudière en phase d'installation sur le site de la commune rurale d'Andaingo en août 2012.



Photo 7 : Vanne solénoïde proportionnelle contrôlant automatiquement l'admission de vapeur dans le moteur.

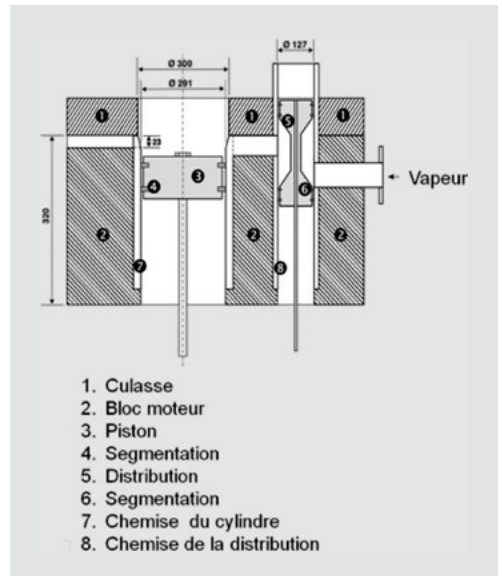


Figure 3 : Détail de l'alimentation moteur en vapeur.



Figure 1 : Représentation d'une centrale thermoélectrique à biomasse vapeur pour assurer l'électrification rurale décentralisée. (Dessin de Roddy)



Photo 1 : Le président du VOI de Bedoa qui doit approvisionner la centrale de Manerinerina en bois, devant des rejets de Ziziphus âgés d'environ dix ans.



Photo 2 : Une vue des savanes à Ziziphus pâturées par les zébus, dans le VOI de Bedoa.



Photo 3 : Le garde du VOI de Bedoa montre, avec son doigt, l'étendu de la forêt de Ziziphus, qui s'est installée au pied du massif de l'Ankarafantsika.



Photo 4 : Une cèpée de Ziziphus, dont les rejets sont âgés d'environ dix ans. Les circonférences de chaque rejet sont mesurées à 1,30m du sol, soit environ au milieu de la photo. La surface terrière de l'individu sera la somme de la surface terrière des rejets.



Photo 5 : Bois de rejets de Ziziphus, en cours de séchage, après exploitation sur le VOI de Bedoa.



Photo 6 : Forêt alluviale à *Terminalia mantaly*, dans le VOI de Bedoa.



Photo 7 : Sacs de charbon de bois de Ziziphus, en cours de transbordement (charrettes/camion) pour être expédiés vers la ville de Mahajanga.



Photo 8 : La centrale de Manerinerina et son petit stock de bois de Ziziphus en 2014.



Photo 1 : Décortiquerie à Befeta. (Gilles Chaix)



Photo 2 : Artisan mécanique à Andaingo. (Pierre Montagne)



Photo 3 : Eclairage ERD chez une commerçante à Didy. (Benoit Delamare)



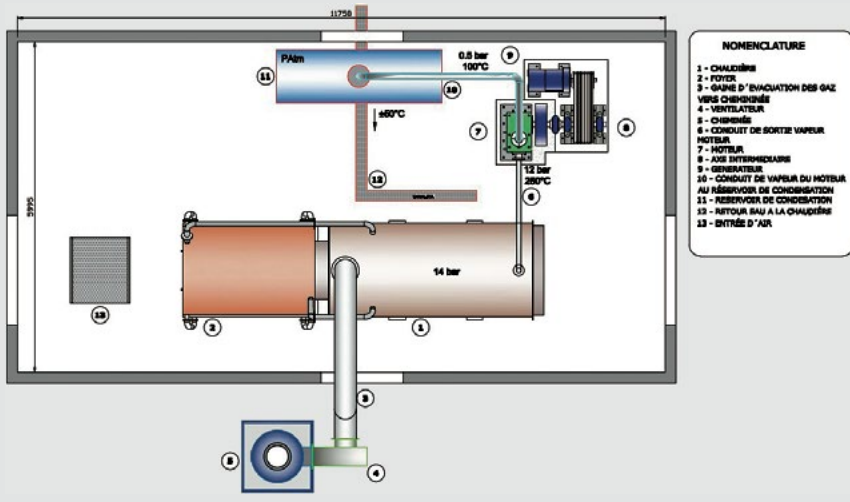
Photo 4 : Dépailleur à Didy. (Benoit Delamare)



Photo 5 : Eclairage domestique ERD à Didy. (Benoit Delamare)



Photo 6 : Eclairage public à Didy. (Benoit Delamare)



- NOMENCLATURE**
- 1 - CHAUDIÈRE
 - 2 - FUYER
 - 3 - QUINNE D'ÉVACUATION DES GAZ VERS CHAUDIÈRE
 - 4 - VENTILATEUR
 - 5 - CHAUDIÈRE
 - 6 - CONDUIT DE SORTIE VAPEUR MOTEUR
 - 7 - MOTEUR
 - 8 - AISI INTERMÉDIAIRE
 - 9 - GÉNÉRATEUR
 - 10 - CONDUIT DE VAPEUR DU MOTEUR AU RÉSERVOIR DE CONDENSATION
 - 11 - RÉSERVOIR DE CONDENSATION
 - 12 - RETOUR EAU À LA CHAUDIÈRE
 - 13 - ENTRÉE D'AIR

Figure 1 : Schéma général d'installation des centrales thermoélectriques. (Source COGEBIO/PSI)

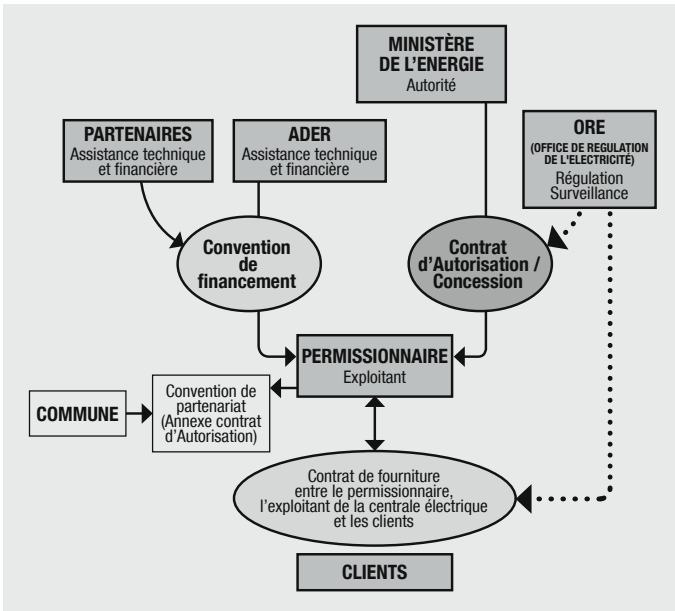


Figure 2 : Relations contractuelles de fonctionnement d'une installation ERD biomasse vapeur ou non. (Source ADER)



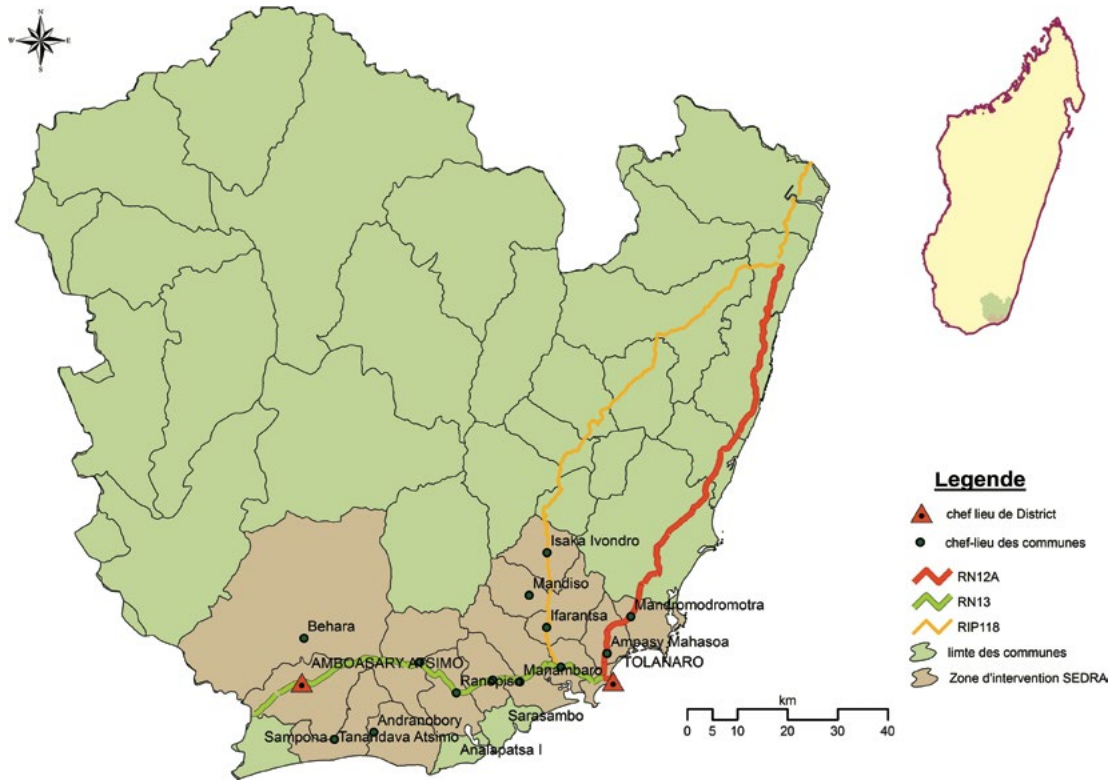
CASTIELEC RCP

NO	IMPULSERA	Capacité (kW)	Produit (MWh)	État	Observations
1	INDRAMONTE MAH L	488	100	OK	
2	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
3	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
4	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
5	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
6	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
7	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
8	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
9	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
10	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
11	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
12	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
13	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
14	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
15	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
16	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
17	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
18	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
19	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
20	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
21	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
22	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
23	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	
24	INDRAMONTE JARDIN	488	21	OK	

Photos 1 et 2 : Fiches de suivi centrale de Manerinerina par CASIELEC.

TABLEAU DE SUIVI DU FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE														janvier				Observations						
Date	Heures	Arrêt temporaire			Gazole (L)		Huile (L)		Pression (bar)		Biomasse enfournée		Production (kWh)		Charge (A)									
		Début	fin	durée	quantité	consommé	HHD	HSD	0	1	2	3	4	5	1	2	3	Hc	V					
21-janv-15	09h45																							
	8h00																				Alimentage du foyer			
	9h00																							
	10h00																					Démarrage vapeur		
	10h30	10h30	10h45	15min																		Vérification de l'huile		
	11h00																							
	11h30																						En charge clients	
	12h30																						Problème EAU	
	13h30																						Arrêt pour vérification	
	14h30																							
	15h30																							En charge clients
	16h30																							
17h30																								
18h30																								Arrêt pour vérification
19h30																								
20h30																								
21h30																								
22h30																								
23h30																								
24h30																								

Figure 3 : Tableau type à renseigner par les responsables opérationnels d'une centrale ERD biomasse vapeur.



Carte 1 : Zone d'intervention de la Stratégie Energie Domestique de la Région Anosy (SEDRA).

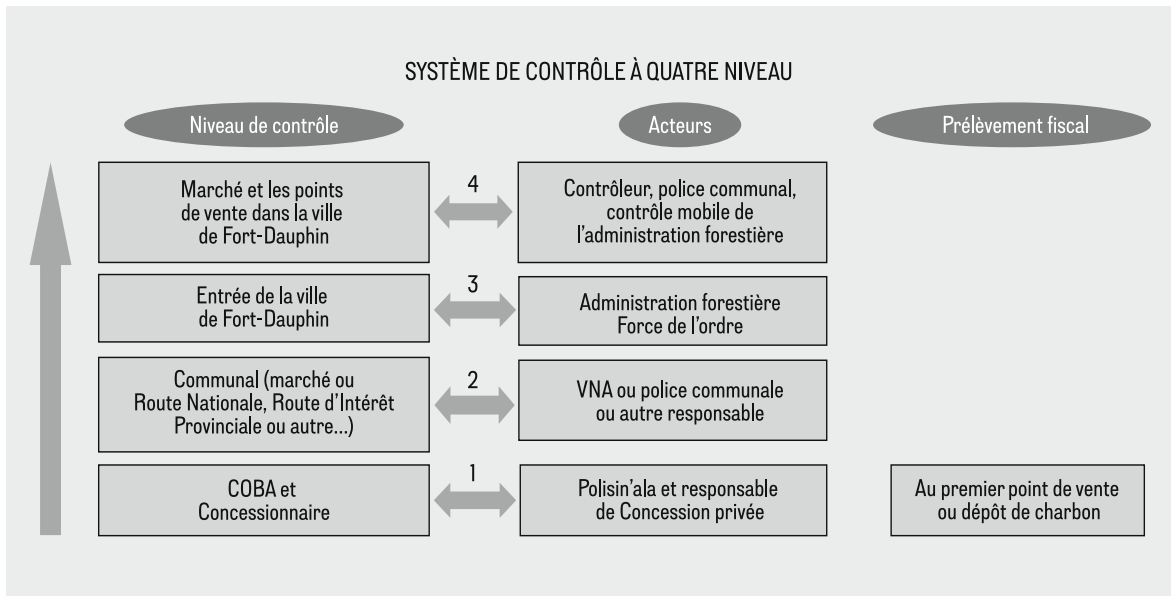


Schéma 1 : Le système de contrôle forestier décentralisé (CFD) de la SEDRA.

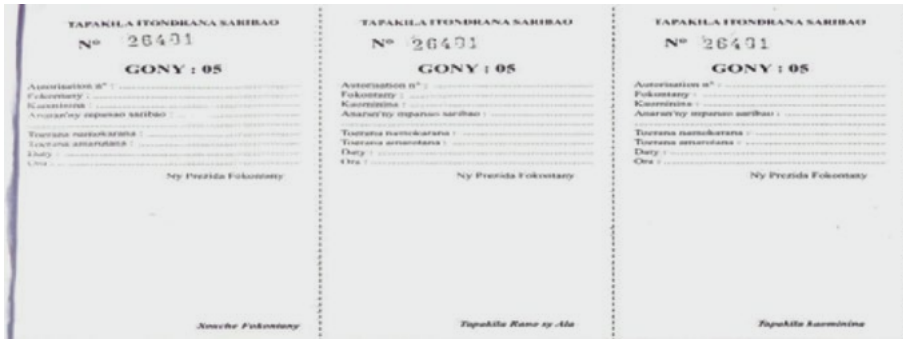


Illustration 1 : Modèle de coupon blanc pour laisser passer le charbon issu des Fokontany et COBA de la zone sèche.

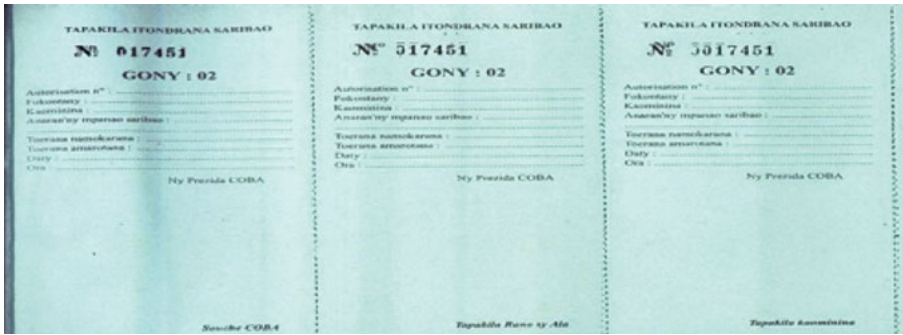


Illustration 2 : Modèle de coupon vert pour les COBA gestionnaires d'Eucalyptus.

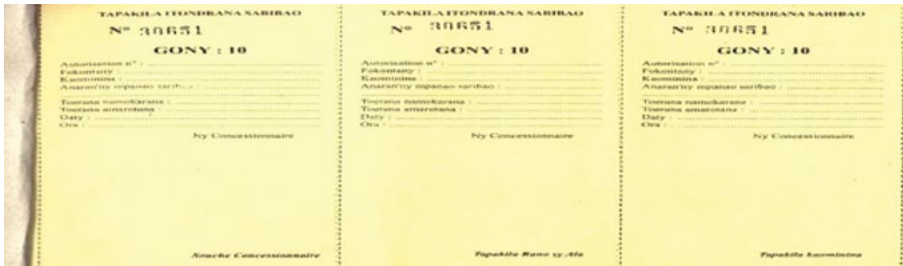


Illustration 3 : Modèle de coupon jaune pour les propriétaires de plantations privées.

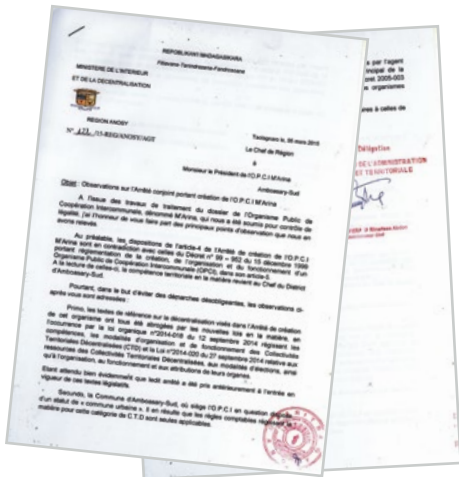


Illustration 4 : Document de l'OPCI.

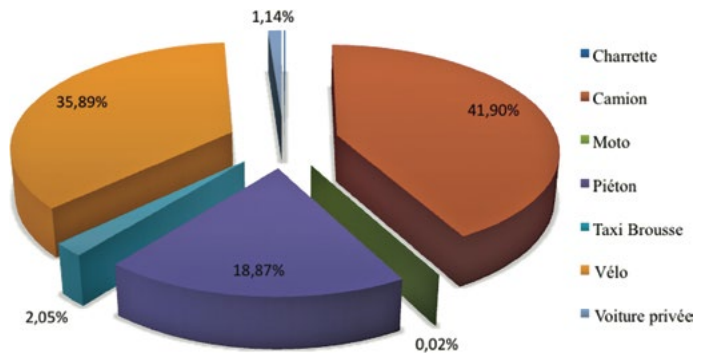
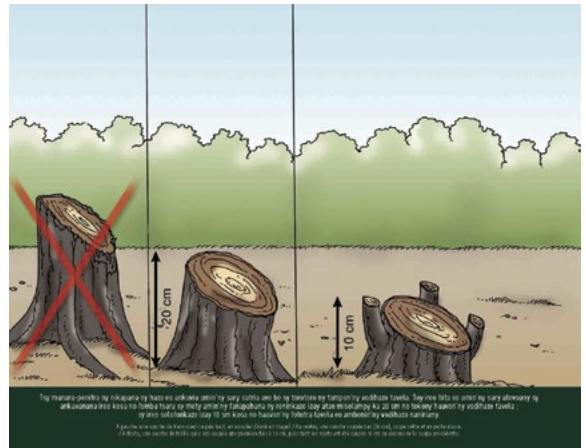


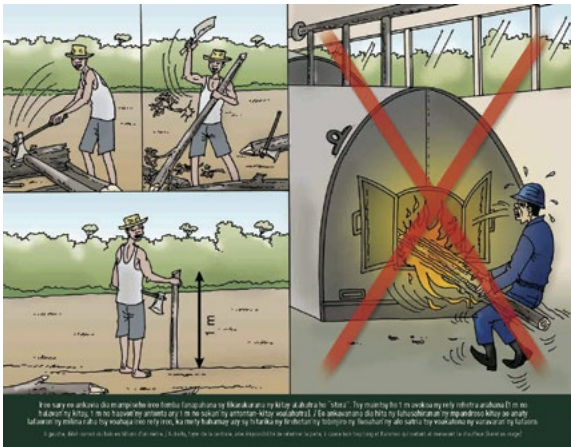
Schéma 2 : Répartition de l'approvisionnement de la ville de Fort-Dauphin en charbon de bois par mode de transport.



Dessin 1 : Le vade-mecum des bonnes pratiques d'exploitation du bois de feu à Madagascar pour l'approvisionnement durable des centrales électriques à biomasse. (Roddy, 2013)



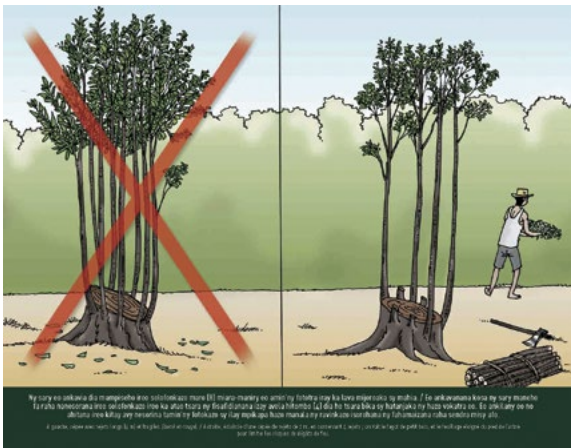
Dessin 2 : Norme d'abattage pour une bonne régénération des souches. (Roddy, 2013)



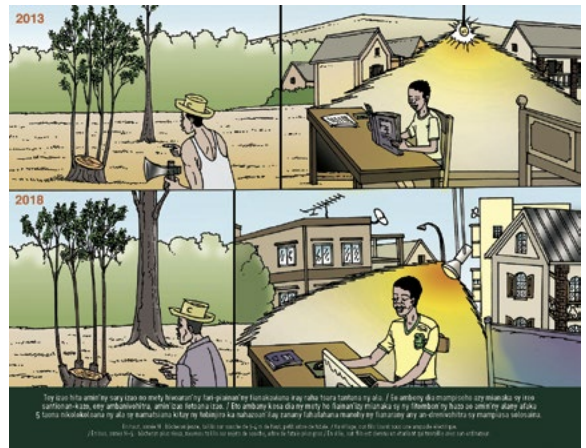
Dessin 3 : Des bûches de taille un mètre pour un bon enfournement. (Roddy, 2013)



Dessin 4 : Importance d'une carte de bûcheron et d'un matériel bien entretenu. (Roddy, 2013)

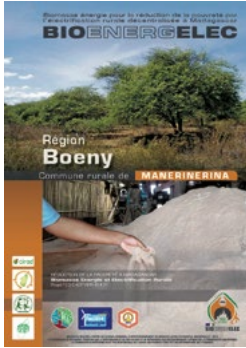
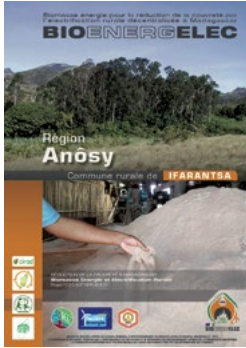
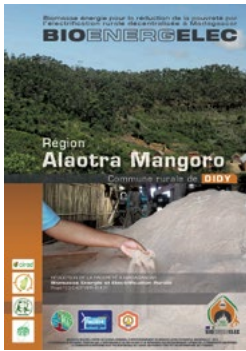
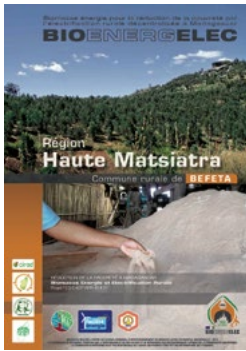


Dessin 5 : Dépresseage des rejets après reprise. (Roddy, 2013)



Dessin 6 : Gestion durable pour un bénéfice pérenne. (Roddy, 2013)

ILLUSTRATION DES MESSAGES CLÉS POUR L'APPROPRIATION DE L'ERD



TOROLALANA FANGATAHANA FAMATSIAMBOLA HO FAMATSIANA HERINARATRA AVY AMIN'NY "BIOMASSE"

GUIDE STANDARD POUR DEMANDE DE FINANCEMENT
L'ÉLECTRIFICATION RURALE DÉCENTRALISÉE (ERD) SUR LA BIOMASSE

REDUCTION DE LA PAUVRETÉ À MADAGASCAR | Biomasse Énergie et Electrification Rurale

Brochures et guide ERD produits.



Photo 1 : Les équipes des opérateurs ERD Biomasse vapeur à Madagascar. De gauche à droite : SERMAD, BETC et CASIELEC avec l'équipe d'animation PARTAGE.

BIOENERGELEC Biomasse Énergie et Electrification Rurale

BIOMASSE ÉNERGIE POUR LA RÉDUCTION DE LA PAUVRETÉ PAR L'ÉLECTRIFICATION RURALE DÉCENTRALISÉE À MADAGASCAR

UN PROJET PILOTE DANS CINQ COMMUNES

REGIONS : ALAOTRA-MANGORO, ANOSY, BOENY, HAUTE MATSIATRA
COMMUNES : DIDY, MANERINERINA, IFARANTSA, BEFETA, MAHADITRA

L'ERD biomasse ligneuse ou non ligneuse est techniquement possible par l'installation d'une centrale thermoelectrique constituée :

- D'un ensemble foyer plus chaudière où a lieu la combustion de biomasse et qui fournit l'énergie thermique à l'eau à l'état de vapeur
- D'un moteur à vapeur vertical qui convertit l'énergie de détente en énergie mécanique permettant la rotation d'un arbre qui entraîne un alternateur. La vapeur haute pression se détend dans le moteur et est ensuite libérée à une pression plus faible pour être éventuellement réutilisée à d'autres fins.

Les centrales sont généralement alimentées avec des déchets agricoles (balle de riz, rafles de maïs) ou de la biomasse ligneuse (bûches de sciage...) combinés avec des bois énergie de plantations exotiques (Eucalyptus).

SCHEMA D'UNE CENTRALE THERMOELECTRIQUE
Egotherm

BIOMASSE LINEUSE :

- 1. CHAUFFAGE
- 2. COUPE
- 3. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS
- 4. COUPE
- 5. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS
- 6. COUPE
- 7. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS
- 8. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS
- 9. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS
- 10. COUPE ET TRANSPORT DES BOIS

BIOMASSE NON LINEUSE :

- 1. MOULIN
- 2. MOULIN
- 3. MOULIN
- 4. MOULIN
- 5. MOULIN
- 6. MOULIN
- 7. MOULIN
- 8. MOULIN
- 9. MOULIN
- 10. MOULIN

OBJECTIFS

- Installation de cinq centrales thermoelectriques biomasse pour l'électrification rurale décentralisée (ERD)
- Analyse des impacts socio-économiques et financiers du système énergétique
- Façonner de son impact en termes de réduction de la pauvreté et de développement économique local.

AVANTAGES

- Robustesse, durée de vie de 20 ans et plus.
- Accepte des biomasses ligneuses humides.
- Technologie accessible en milieu rural où fait de la disponibilité de tous types de biomasses.
- Utilisation d'un « carburant » local et valorisation monétaire des déchets des communes.
- Produire l'énergie à un coût intéressant : coût de la biomasse utilisée = 1/10^{ème} coût du gaz/oil/KW produit.

CONTRAINTES

- Coût d'investissement élevé (comparé au groupe diesel).
- Équipements lourds, difficilement transportables.
- Alimentation régulière permanente.
- Nécessite un point d'eau à proximité.
- Approvisionnement en biomasse assuré par une organisation locale.

Tableau 1 : Coûts de l'investissement en matériels ERD et infrastructures

TOTAL COÛTS** FOURNISSEURS DIRECTS**	292 436
ENSEMBLE DE PRODUCTION ERD (Y COMPRIS TRANSPORT VERS MADAGASCAR)	214 529
MOTEUR VAPEUR 70 KW	115 708
CHAUDIERE + FOYER MIXTE BIOMASSE NON LIGNEUSE ET NON LIGNEUSE	76 011
INSTALLATION MOTEUR, CHAUDIERE ET FOYER	22 748
BÂTIMENT	27 405
RÉSEAU ERD	50 352

** Coûts 2013 en euros
** Fournisseurs directs = fabricant du moteur, entreprises bâtiment, réseau et installation finale

DES COMMUNES AUX SITUATIONS ET AUX DYNAMIQUES DE DÉVELOPPEMENT CONTRASTÉES

Tableau 2 : Situation démographique des 5 communes

COMMUNE	NOMBRE TOTAL DE MÉNAGES	NOMBRE TOTAL DE PERSONNES
Didy	710	3 076
Manerinerina	378	3 912
Ifarantsa	328	1 644
Befeta	248	1 142
Mahaditra	308	1 453
TOTAL	2 428	12 797

Tableau 3 : Revenu moyen des ménages par commune (en euros/an)

	MOYENNE	MÉDIANE	MIN	MAX
Didy	774	574	266	4982
Manerinerina	594	327	327	4545
Ifarantsa	843	656	46	3038
Befeta	1179	464	178	6478
Mahaditra	925	707	134	3456
Total	861	499	327	6478

Une étude de l'impact de l'ERD sur la pauvreté des populations des cinq communes bénéficiaires a été faite. Le revenu des ruraux varie de 355 à 7179 € l'année en moyenne. Les revenus moyens élevés se concentrent dans cette situation de référence et comparant des ménages avec et sans électrification.

ÉVALUER L'IMPACT DE L'ÉLECTRIFICATION À BASE DE BIOMASSE SUR LE DÉVELOPPEMENT LOCAL ET LA RÉDUCTION DE LA PAUVRETÉ

Formation forestière et agricole
accréditée de l'Institut National Supérieur de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Élevage

Formation forestière et agricole
accréditée de l'Institut National Supérieur de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Élevage

Tableau 4 : Répartition géographique des communes

Poster du projet BIOENERGELEC. (Pierre Montagne, 2014)

LES PRODUITS DE COMMUNICATION (BROCHURES, POSTERS, ETC...)

L

Disponibilité en bois d'Eucalyptus dans les communes de Didy, Mahaditra et Befeta : Quel aménagement durable pour alimenter des centrales thermoélectriques à biomasse ?

Gilles CHAIX, Honoré RANDRIANJAFY, Daniel ANDRIAMBOLANORO,
Tiana HERIMIASA, Tsila RAKOTOMALALA, Régis PELTIER

Introduction

L'objectif de l'article est de discuter de la disponibilité en biomasse bois d'Eucalyptus et de la gestion des plantations dans les communes de Didy, Mahaditra et Befeta pour l'approvisionnement en bois des centrales thermoélectriques à biomasse prévues par le projet BIOENERGELEC. Pour un usage permettant d'assurer un approvisionnement en électricité des communes, la consommation en bois de ces centrales est estimée, selon l'humidité du bois et le diamètre des brins, entre 1000 et 1500 stères par an (330-500 tonnes) représenté par la quantité de bois qui peut être récoltée, en coupant, chaque année 10 ha de taillis d'Eucalyptus, âgés de 5 à 6 ans. Autrement dit, une centrale pourrait être alimentée par la production de bois d'une plantation d'Eucalyptus de 50 à 60 ha, traitée en taillis, avec une rotation de 5 à 6 ans. Il s'agit ici d'apporter les éléments nécessaires afin de proposer un aménagement durable de cet approvisionnement, en tenant compte des autres usages des taillis d'Eucalyptus dans chacune des communes.

Les trois communes se situent dans deux régions différentes en termes de climat, de sols, mais surtout d'activités forestières. À Mahaditra et Befeta, région Haute Matsiatra, les plantations d'Eucalyptus constituent l'essentiel des formations forestières existantes. Tandis qu'à Didy, région Alaotra-Mangoro, elles sont en nombre limitées, mais non négligeables : l'essentiel des formations forestières est constitué par la forêt naturelle d'Ambohilero (117 600 ha).

L'article repose sur une description générale des communes et leur situation forestière mettant en évidence la disponibilité de la biomasse ligneuse pour les centrales. Cette description est basée sur une étude cartographique à partir de l'interprétation d'images satellites avec vérifications sur le terrain, suivi de mesures sur des placeaux temporaires d'inventaire forestier. Basé sur ces données, un plan d'aménagement des forêts est proposé pour chacune des trois communes.

Description générale des sites

DESCRIPTION ET CONTEXTE À DIDY

La commune rurale de Didy est rattachée administrativement au district d'Ambatondrazaka. Ambohijanahary, le chef-lieu de la commune Didy, se trouve à 54 km au sud-est du district d'Ambatondrazaka. On y accède par une piste très dégradée rendant la commune très isolée surtout en période pluvieuse notamment cyclonique où les 54 km nécessitent près de 3 à 4 heures en véhicule tout terrain.

La population est de 20846 habitants dont 2500 pour le chef-lieu. Les ethnies dominantes sont les Sihanaka suivi des Betsileo et Merina, souvent migrants et actifs dans le secteur forestier.

Les activités principales de la population de cette commune sont l'agriculture et l'élevage : 4000 des 9000 ha de la plaine sont cultivés. Les principales cultures sont le riz de façon prépondérante, le haricot et la pomme de terre. Les activités domestiques et assimilées (commerces) et les usages artisanaux (dépailliers, menuisiers, soudeurs, etc.), nécessitent un approvisionnement quotidien, permanent et conséquent en énergie tout au long de la journée qui est jusqu'à présent assuré par des groupes électrogènes.

Avec la centrale thermoélectrique à biomasse, il deviendra possible d'envisager, pour les activités de transformations des produits agricoles, le passage du moteur diesel au moteur électrique. De même, la transformation et la valorisation locale du bois d'œuvre pourront être améliorées par l'installation d'une unité de sciage et de menuiserie.

Activités forestières / marché du bois / utilisation de la biomasse

La partie est de la commune est occupée par la forêt classée d'Ambohilero qui couvre une superficie de 117600 hectares. Elle est riche en bois de deuxième catégorie, recherchés en ébénisterie et menuiserie fine. On y rencontrent des essences rares ou de valeur comme le *voamboana* (palissandre) et le *hetatra*, ainsi que des plantes médicinales ou à huiles essentielles.

La forêt naturelle d'Ambohilero, forêt classée de l'État appartenant au Corridor Ankeniheny-Zahamena, Aire Protégée de type VI, bénéficie d'un aménagement forestier qui s'appuie sur le transfert de gestion des ressources forestières de l'État aux populations de ce massif. Cet aménagement a été réalisé entre les années 2002 et 2014 dans le cadre de deux projets successifs financés par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). Il a développé ses actions en application des textes législatifs et réglementaires de l'État notamment la loi forestière 97-017 et la loi « Gestion Locale Sécurisée » GELOSE 96-025. Cet aménagement de conservation par la valorisation couvre une superficie d'environ 40000 ha dont un quart mis en exploitation raisonnée de bois d'œuvre par rotation et quotas respectant la durabilité de la production.

Cet aménagement permet l'exploitation et la commercialisation par les populations bénéficiaires des contrats GELOSE de bois de deuxième catégorie comme les palissandres suivi de ceux de 3^{ème} et 4^{ème} catégorie qui sont généralement exploités pour la construction des maisons, la menuiserie, la fabrication d'embarcations, le charbonnage, et qui, la plupart du temps, sont acheminés vers les villes telles qu'Ambatondrazaka ou Antananarivo sous forme de traverses ou de madriers. Il en est de même pour les bois de la 5^{ème} catégorie tels que les *tavolo*, *ramy*, *famelona volomborona*, *mokaranana*, *andrarezina* et autres qui sont de valeur moyenne et qu'on utilise surtout pour le bois de chauffage local et le charbonnage.

Compte tenu de la présence de ce massif forestier, la population s'est peu impliquée dans la plantation d'Eucalyptus, espèce pour la production de bois de feu ou de charbon de bois. L'installation de la centrale thermoélectrique biomasse par le projet BIOENERGELEC va entraîner une demande en biomasse ligneuse et non ligneuse importante. La population de la commune, sollicitée par le maire a pris conscience de l'importance des plantations d'Eucalyptus utilisées comme bois de chauffe.

DESCRIPTION ET CONTEXTE À MAHADITRA

La commune rurale de Mahaditra se trouve dans la région Haute Matsiatra, district de Vohibato, à 56 km au sud de Fianarantsoa, entourée par les communes : Alakamisy Itenina (nord), Anjoma (sud), Andranovorivato (ouest) et Ankarimalaza (est). C'est une commune isolée, mais la piste est accessible toute l'année : 20 km goudronnés, 20 km carrossables en bon état et 16 km carrossables en plus ou moins mauvais état.

La population de la commune rurale est de 29 117 habitants, dont 3 328 pour le chef-lieu. Elle est composée essentiellement par des agriculteurs et quelques fonctionnaires. L'activité agricole est la principale activité économique de la commune (riz, haricot, arachide, élevage...). L'exploitation de la forêt est essentiellement de type cueillette pour le bois d'œuvre selon les besoins et le bois de chauffe autoconsommés localement.

Quelques installations artisanales nécessitent de l'électricité : une menuiserie (12 kVA), deux dépailleurs (10 kVA/11 kVA) et le bureau de la commune.

La fourniture d'électricité par la centrale assurerait le passage du moteur diesel au moteur électrique pour les installations existantes (transformation de produits agricoles essentiellement) et la fourniture en électricité du projet d'installation d'une scierie complète d'une puissance de 60 kVA, par un opérateur local.

Activités forestières / marché du bois / utilisation de la biomasse

Un exploitant forestier investit beaucoup pour l'exploitation et la transformation de bois. Il emploie une vingtaine d'ouvriers qui assurent l'abattage et le sciage. Il utilise deux camions pour le transport ; il achète des arbres sur pieds et les transforme en madriers, planches ou bois carrés. Il exporte à l'extérieur de la commune, Fianarantsoa et Ambalavao Tsiemparihy, 75% de ses produits. Quelques charbonniers produisent et vendent une dizaine de sacs de charbon par semaine mais cet exploitant forestier est le seul professionnel légal de la commune.

Un deuxième opérateur travaille dans la commune. Il assure la transformation de bois exploité dans la commune depuis 2005. Sa menuiserie utilise un groupe électrogène de 12 kVA. Cette petite entreprise fonctionne huit heures par jour et six jours sur sept et produit selon les commandes : portes, fenêtres, tables, bancs, chaises, armoires... Cet opérateur espère améliorer la qualité et la quantité de ses produits mais il est limité par ses moyens matériels, parce que la puissance de son groupe l'empêche d'utiliser d'autres équipements. Il comprend que son activité et celle de production électrique de la centrale sont complémentaires. Il est prêt à collaborer avec l'opérateur de la centrale pour l'approvisionnement en biomasse à partir de ses déchets de bois.

À Mahaditra, la production de charbon n'est pas une activité intéressante parce que la plupart des ménages utilise le bois de chauffe qu'ils ramassent gratuitement dans les forêts. Il est donc très rare de trouver des vendeurs de bois de feu dans la commune de Mahaditra et quelques dizaines de sacs de charbons seulement sont commercialisés le jour du marché.

La transformation des bois en planche, madriers, bois carré, poteaux... est destinée aux besoins locaux comme les constructions. Les propriétaires des plantations préfèrent vendre les arbres sur pieds et c'est l'acheteur qui les transforme et les exporte à Fianarantsoa ou vers d'autres villages voisins.

DESCRIPTION ET CONTEXTE À BEFETA

La commune rurale de Befeta se trouve dans le district d'Ambohimahaso, région de la Haute Matsiatra, à 38 km au nord-ouest de Fianarantsoa et à 40 km au sud d'Ambohimahaso, entourée par les communes d'Ikalalao (nord), de Lavonomby Vohibola (sud), d'Isaka (ouest) et d'Alakamisy Ambohimaha (est).

La population de la commune rurale est de 18 227 habitants dont 1350 pour le chef-lieu. L'activité agricole est la principale activité économique de la commune (riz, haricot, arachide, élevage...). La pêche est également une activité importante grâce à la proximité de la rivière. Befeta est renommé pour sa viticulture et la production du vin de Befeta.

Disponibilité en bois d'Eucalyptus dans les communes de Didy, Mahaditra et Befeta :
Quel aménagement durable pour alimenter des centrales thermoélectriques à biomasse ?

Pour l'heure, il n'existe que quelques installations qui nécessitent de l'électricité : une menuiserie (12 kVA), deux dépaillieurs (20 kVA) et une décortiquerie d'arachide (moteur de 30 CV).

Avec la perspective de l'installation de la centrale qui verra les installations existantes passées du diesel au biomasse, plusieurs personnes projettent aussi d'entreprendre et d'utiliser des machines (huilerie, menuiserie, poste de soudure), d'améliorer les machines existantes pour des équipements plus modernes (raboteuse, tour à bois, toupie pour les menuisiers artisanaux et utilisation des réfrigérateurs pour les épi-bar et les boucheries).

Activités forestières / marché du bois / utilisation de la biomasse

Dans cette commune, l'exploitation des plantations forestières ne fait pas partie des activités principales de la population. Elles sont exploitées pour les besoins en bois d'œuvre et surtout bois de chauffe.

Deux opérateurs sont concernés directement par l'installation de la centrale :

- Une menuiserie fabricant de meubles utilise un groupe électrogène de 3 KVA. L'entreprise fonctionne huit heures par jour et six jours sur sept. Elle exporte des produits finis à l'extérieur de la commune. Cet opérateur espère améliorer la qualité et la quantité de ses produits mais il est limité par les moyens matériels parce que la puissance de son groupe électrogène l'empêche d'utiliser d'autres équipements. Il est donc prêt à collaborer avec l'opérateur central pour l'approvisionnement en biomasse de la centrale sous forme de déchets de transformation ;
- Un constructeur de charrettes qui utilise encore des matériaux traditionnels dont la plupart des travaux de construction, qui nécessitent de l'électricité comme les soudures, sont effectués à Fianarantsoa. Les madriers et les planches sont achetés au chef-lieu de la commune. La collaboration avec l'opérateur de la centrale sera souhaitée parce qu'il projette d'ouvrir un atelier complet (poste de soudure, rabotage, tour à bois...).

Quelques dizaines de sacs de charbon sont commercialisés le jour du marché par des producteurs. À Befeta la production de charbon n'est pas une activité intéressante parce que la plupart des ménages utilisent le bois de chauffe qu'ils ramassent gratuitement dans les forêts.

DISPONIBILITÉ EN BIOMASSE BOIS D'EUCALYPTUS

Didy

Analyse cartographique

À part la forêt naturelle d'Ambohilero, la CR Didy dispose de quelques plantations d'Eucalyptus qui couvrent une surface d'environ 60 ha dont la plupart appartient à des particuliers. Les espèces plantées sont principalement *E. robusta* et *E. camaldulensis*. Ces plantations se trouvent dans un rayon de 20 km du chef-lieu de la commune. La CR a un programme de plantation d'Eucalyptus, mais celles réalisées sont encore très peu étendues.

Analyse sur site – potentialité de production des plantations existantes

Les 61 concessions identifiées, domaniales, communales ou privées adhérentes d'une coopérative, se situent dans un rayon de 10 km du site d'implantation de la centrale à l'exception d'une plantation publique qui se trouve à 23 km. Les 3 parcelles communales, allant de 2 à 7,5 hectares, couvrent une surface totale de 12 hectares. Les 58 parcelles privées, de 0,02 à 22 hectares, couvrent une surface totale de 42 hectares. Si la future centrale thermoélectrique devait uniquement fonctionner avec du bois d'Eucalyptus, la production des plantations de la commune serait suffisante à condition qu'il n'y ait pas d'autres usages. L'installation d'une unité de transformation du bois de forêt naturelle à Didy pourrait être source de combustible sous forme de déchets de sciage. Pour cela, il faudrait une adhésion des exploitants, des opérateurs forestiers dans la transformation locale et donc l'approvisionnement de la future centrale. La valorisation du bois d'œuvre générerait une quantité appréciable de déchets (dosse, sciures, etc. qui pourraient contribuer de façon significative à la production d'énergie électrique. En plus, la chaleur produite par la centrale pourrait être utilisée pour le séchage du bois.

Certaines réserves sont à avancer pour cette commune et les plantations d'Eucalyptus :

- Certaines plantations subissent des coupes précoces tous les deux ou trois ans en l'absence de plan d'aménagement et de gestion de la ressource. L'existence d'exploitations sans permis de coupe, ni déclaration des produits au niveau des services forestiers et des communes, par des propriétaires d'une parcelle pose problème. La commune et les services forestiers doivent résoudre ce problème et mettre en place un plan d'aménagement ;
- Il est possible que, d'ici quelque temps, les plantations d'Eucalyptus soient exploitées pour l'approvisionnement de la commune en charbon, en bois de service et bois d'œuvre du fait de la mise en place des dispositifs pour la protection de la forêt naturelle d'Ambohilero.

Pour ces différentes raisons, il serait souhaitable d'encourager la plantation de nouvelles parcelles d'Eucalyptus, dans un rayon d'une quinzaine de km autour de la centrale.

Mahaditra

Analyse cartographique

Nous pouvons estimer que les formations forestières couvrent une surface de 5410 hectares dans un rayon de 20 km autour du chef-lieu de la commune de Mahaditra, avec 232 ha autour dans un rayon de 10 km. La plupart des plantations forestières sont privées et sont plus ou moins boisées. Il s'agit en général anciennes plantations d'*E. robusta*, mais avec du recru naturel d'espèces locales ou exotiques (*Pinus* spp.). La plus grande partie de ces plantations se trouve sur la route principale vers Alakamisy Itenina. Elles appartiennent à des propriétaires privés, des collectivités comme l'église et la commune. Cette dernière possède les plantations qui se trouvent, pour la plupart, à 5 mètres de part et d'autre de la route, selon la délibération des conseillers municipaux.

Analyse sur site – potentialité de production des plantations existantes

Une étude a permis d'identifier et de répertorier les plantations d'Eucalyptus dans la zone d'approvisionnement potentiel de biomasse forestière de la centrale de la commune de Mahaditra. D'après les enquêtes effectuées, nous avons identifié 46 parcelles dont 36 propriétaires. Pour la majorité, ce sont des plantations privées – allant de 0,05 à 15 hectares – qui se trouvent dans cinq fokontany dont : Moralina, Maromandra, Tsimaitohosoa Nord, Monongona et Midongy Est. Elles couvrent une surface totale de 91 hectares. La commune possède 2 parcelles qui couvrent une surface totale de 6 hectares.

Befeta

Analyse cartographique

Cette commune est couverte par au moins 28 500 hectares de zones plus ou moins boisées dans un rayon de 20 km, 9 937 ha dans un rayon de 10 km et 18 585 ha dans un anneau entre 10 et 20 km. Les plantations forestières sont constituées essentiellement par de l'*Eucalyptus camaldulensis*.

Il n'y a pas eu beaucoup d'initiative de plantations forestières à Befeta. La plupart d'entre elles se trouvent autour du chef-lieu, dans le fokontany de Tsimanavakavaka et celui d'Isahy Tangimaso où ont lieu les reboisements communaux.

Analyse sur site – potentialité de production des plantations existantes

Quarante et une parcelles de plantation d'Eucalyptus ont été identifiées et répertoriées pour approvisionner la centrale. La majorité d'entre-elles se trouve dans un périmètre de 5 km autour du chef-lieu de la commune, c'est-à-dire dans le fokontany de Tsimanavakavaka. Parmi ces 41 parcelles couvrant au total 114 ha, trois d'entre-elles appartiennent à la commune et les autres à des petits propriétaires privés.

Les 3 parcelles communales avec une surface de 10 à 15 hectares, pour un total de 40 ha, ont été plantées vers 1970, probablement sous l'impulsion du président Tsiranana. Les 38 parcelles privées, allant de 0,25 à 12 hectares, couvrent une surface totale de 74 hectares.

Éléments techniques des plans simples de gestion (PSG) des plantations d'Eucalyptus pour l'approvisionnement des centrales

ORGANISATION GÉNÉRALE DE L'APPROVISIONNEMENT DES CENTRALES

Il s'agit d'évaluer la capacité actuelle des propriétaires à vendre la biomasse bois et à en approvisionner régulièrement la centrale électrique et de décrire les différents modes d'approvisionnement.

Les différentes étapes pour l'approvisionnement de la centrale dépendent de la forme d'approvisionnement, mais on peut les résumer ainsi : l'abattage, le façonnage et le débardage, le transport des produits jusqu'à la centrale ou jusqu'à un site intermédiaire de stockage, le stockage/séchage, la reprise et la livraison éventuellement en cas de zone intermédiaire de stockage.

Pour les différentes sources d'approvisionnement en biomasse, on distingue 2 types d'approvisionnement :

- Le gestionnaire de la centrale assure lui-même l'approvisionnement en combustible (bois-bûche et/ou balle de riz le cas échéant) ;
- Le gestionnaire fait appel, directement ou indirectement par le biais d'un exploitant, à une société/coopérative d'approvisionnement qui assure les livraisons à la centrale, selon un cahier des charges préétabli.

Pour la logistique de l'approvisionnement en biomasse ligneuse, il y a deux options :

Option A. Approvisionnement direct : le bois est transformé en bûches en forêt. Il est directement transporté à la centrale. Cet approvisionnement est bon marché car il ne comporte qu'un minimum de frais de manutention et ne prévoit pas de stockage intermédiaire.

- La commune assure la livraison de la biomasse exploitée dans la propriété communale,
- La centrale achète le bois en bûches livré sur site,
- Les transactions tiennent compte des services rendus à la commune et aux services publics qui en dépendent,
- La commune se réserve le droit de réviser son plan de gestion à la demande de l'administration forestière.
- Toutes les données et explications techniques sur l'approvisionnement en flux tendu sont décrites dans le plan de gestion.

Option B. Approvisionnement indirect (avec rupture de charge) : le bois est transformé en bûche, soit en forêt, soit à l'entrepôt intermédiaire et stocké hors de la forêt. L'approvisionnement indirect est plus onéreux car il nécessite un entrepôt intermédiaire et plus de manutention.

- Le groupe de propriétaires de plantations exploite au minimum 1/5 de la surface de peuplement mise sous contrat d'approvisionnement,
- Les privés vendent des produits « marchandés » formellement avec « promesse de vente » et contrat sur l'engagement d'achat par le gestionnaire de la centrale,
- Les propriétaires assurent l'exploitation et le transport (par charrette, ou motoculteurs de transport) jusqu'à une aire de stockage en bord de route où la centrale peut négocier le stère (par exemple 5000 Ar/stère) ; ou
- La centrale achète le bois en bûches livré à sa plate-forme (10 000 Ar le stère). Il y a toujours nécessité de rassembler une quantité significative avant livraison à la centrale.

DÉMARCHES ADMINISTRATIVES COMMUNES AUX TROIS COMMUNES POUR L'APPROVISIONNEMENT DES CENTRALES

Après discussions et échanges à la DREF Haute Matsiatra et le chef de Cantonnement du district de Vohibato, les étapes et procédures d'octroi de permis de coupe proposées sont les suivantes (sauf pour les plantations gérées par le DREF) :

Tableau 1 : Procédures de délivrance des permis d'exploitation

Type demandeur	Dossiers à fournir à la DREF	Droit	Charges	Délais autorisation
Propriétaires, y compris plantations communales, EPP, église...	<p>Une demande d'autorisation de coupe qui mentionne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La localisation du site - La superficie - L'objet de l'exploitation (bois centrale, charbon, bois d'œuvre...) - L'espèce de bois à exploiter <p><u>Terrain titré</u> : demande d'autorisation de coupe + plan d'aménagement + cadastre (dossiers complets) + plan croquis du terrain de plantation</p> <p><u>Terrain non titré</u> : demande autorisation de coupe + certificat de propriété certifié par le fokontany et la commune + plan d'aménagement + plan croquis du terrain de plantation.</p> <p><u>Si terrain en commun (héritage)</u> : demande d'autorisation de coupe + plan d'aménagement + procuration signée par tous les héritiers certifiée par le fokontany + plan croquis du terrain de plantation</p>	0 Ar	<p>Reconnaissance sur terrain, Reconnaissance domaniale</p> <p><u>Indemnités de déplacement</u> : 15 000 à 30 000 Ar par jour</p> <p><u>Carburant</u> : 250 Ar /km</p> <p>La durée nécessaire à la visite sur site dépend de la surface de la parcelle</p>	Un an (renouvelable)
Prestataire	Demande d'autorisation de coupe + plan d'aménagement + contrat de vente certifié par le fokontany + plan croquis du terrain de plantation			

MESURES PARTICULIÈRES POUR MAHADITRA

Surfaces et mesures à considérer

À Mahaditra, 49 parcelles (3 communales et 46 privées) réparties sur une surface de 97 ha soit 40% de l'existant dans un rayon de 10 km ont été répertoriées et cartographiées. La surface des plantations d'Eucalyptus répertoriées est largement suffisante pour assurer les besoins de la centrale. Avec une productivité moyenne de 10 m³/ha/an, la production potentielle de 970 m³ est plus importante que les besoins de la centrale (600 m³/an de bois ronds).

Suite aux souhaits exprimés par les propriétaires forestiers, la sylviculture retenue sur les parcelles sera de type taillis-sous-futaie (TSF). Ce type de sylviculture pragmatique permet aux propriétaires de prélever dans leurs parcelles, à la fois du bois-énergie destiné aux centrales par coupe du taillis, tout en conservant quelques tiges sur souche ou en favorisant des semis naturels (environ 60/ha) pour la production bois de service et bois d'œuvre. Dans quelques années, ces rejets et semis préservés auront grossi et il sera possible de récolter des perches, de faire du sciage et du bois de sculpture artisanale ainsi qu'un peu de bois de feu (houppiers). En raison de la fertilité moyenne de ces zones, de l'irrégularité des peuplements et de la sylviculture multi-usage souhaitée par les propriétaires, il est préférable de considérer une production en bois énergie, réellement mobilisable pour la centrale de 6 m³/ha/an. En conséquence, les 97 ha de plantations couvrent 97% (580 m³) des besoins de la centrale (600 m³) sans empêcher la production d'autres produits et en sachant qu'il reste encore 135 ha de mobilisables dans le rayon de 10 km.

Mesures organisationnelles et propositions de gestion

Pour ne pas écarter certains propriétaires qui ont été contactés et engendrer des conflits, nous prendrons en compte beaucoup plus de parcelles qu'il est nécessaire, soit potentiellement 232 ha. Celles-ci seront réparties dans six groupes représentant un sixième de la surface totale en privilégiant la cohérence géographique.

L'agent de l'administration forestière apportera ses compétences pour effectuer :

- les regroupements,
- la représentation sur la carte,
- la numérotation de 1 à 6 (1 étant celles qui seront en exploitation en année 1) et un nom de situation locale,
- la liste de chaque groupement avec le tableau des surfaces et des volumes commercialisables prévisionnels.

Il est probable qu'il ne soit pas possible d'établir un contrat d'approvisionnement avec tous les micro-propriétaires et qu'il faudra encourager l'émergence de Groupement de Propriétaires Forestiers (GPF) qui pourront rédiger ensemble les demandes de coupes annuelles et avec lesquels l'entreprise pourra passer un contrat d'approvisionnement annuel. La liste des plantations doit être délibérée par les conseillers municipaux et approuvée par le chef de district.

Avec l'aide du gestionnaire de la centrale, il sera demandé chaque année auprès de l'administration forestière un permis pour couper le taillis de ces groupes mais seuls les 600 premiers m³ livrés à la centrale seront achetés par le gestionnaire de la centrale, le reste sera vendu sur le marché libre par les propriétaires retardataires.

Gestion sylvicole

La coupe en taillis des Eucalyptus et en particulier *E. robusta* et *E. camaldulensis*, si elle est pratiquée avec une rotation de 6 ans, ne menace en rien la survie de ces peuplements et permet une production durable et renouvelable. Les plantations identifiées, exploitées de façon raisonnées, permettent d'obtenir de bons rendements et de pérenniser ainsi la fourniture régulière du bois de feu nécessaire au bon fonctionnement de la centrale.

Les règles sylvicoles proposées, qui pourront être détaillées sous la forme d'un guide d'exploitation, pour alimenter la centrale de Mahaditra sont :

- Taillis sous futaie,
- Rotation de taillis : 6 ans,
- Hauteur de coupe : 5-10 cm au-dessus de la base du rejet pour les brins de taillis,
- Laisser de 60 à 80 tiges/ha de différents âges en futaie sur souche dont la moitié sera coupée au cours de la rotation suivante,
- Mise en défens temporaire contre le feu l'année qui suit la coupe et pâturage libre.

MESURES PARTICULIÈRES POUR BEFETA

Surfaces et mesures à considérer

Un total de 49 parcelles (3 communales de 40 ha et 46 privées de 74 ha) réparties sur une surface de 114 ha soit un peu moins du quart de l'existant dans un rayon de 10 km ont été répertoriées et cartographiées.

À Befeta, la surface des plantations d'Eucalyptus répertoriées est également suffisante pour assurer les besoins de la centrale (114 ha dans un rayon de 10 km du chef-lieu) avec une productivité moyenne de 10 m³/ha/an, tous bois compris. Selon le même raisonnement qu'à Mahaditra la production potentiellement réellement récoltable est d'environ 1140 m³, bien supérieure aux besoins de la centrale.

De même qu'à Mahaditra, la sylviculture retenue sera le taillis sous futaie. Nous retenons également une production de 6 m³/ha/an. En conséquence, les 114 ha de plantations couvrent plus de 100% des besoins de la centrale sans empêcher la production d'autres produits et en sachant qu'il reste encore 370 ha de mobilisables dans le rayon de 10 km.

Mesures organisationnelles et propositions de gestion

Les propositions sont identiques à celles de Mahaditra, mis à part que les parcelles dans un rayon de 10 km s'étendent sur les 484 ha. L'ensemble des parcelles sera réparti dans six blocs d'environ 80 ha chacun, en privilégiant la cohérence géographique.

Gestion sylvicole

Les règles sylvicoles proposées pour Mahaditra sont valables pour Befeta.

MESURES PARTICULIÈRES POUR DIDY

Surfaces et mesures à considérer

Les 58 parcelles identifiées (domaniales, communales et privées) se situant dans un rayon de 10 km du site d'implantation de la centrale, avec les 3 autres plantations communales plus éloignées (23 km) couvrent une surface totale de 60 ha. Depuis 2009, la commune Didy en partenariat avec le projet COGESFOR effectue des reboisements d'Eucalyptus.

La sylviculture retenue est ici le taillis simple. La productivité a été estimée à 12 m³/ha/an en tenant compte des caractéristiques des sols et du climat de la région et en prenant pour hypothèse qu'elles ne seront pas dégradées par le feu et l'exploitation anarchique. Si l'essentiel de la production des 60 ha (60 ha x 12 m³/ha/an = 720 m³/an) était destiné à l'approvisionnement de la centrale, cela suffirait largement au besoin de celle-ci (600 m³/an).

Mesures organisationnelles et propositions de gestion

Pendant le Plan simple de gestion n°1 d'une durée de 6 ans, il est envisagé d'exploiter 9 ha chaque année qui produiront la quantité nécessaire achetée par la centrale. Pendant le Plan simple de gestion n°2, ces parcelles seront à nouveau exploitées en taillis, avec une rotation de six ans. Il est attendu d'ici là que d'autres parcelles auront été plantées et mises en production, pour sécuriser l'approvisionnement de la centrale et faire face aux aléas.

Le PSG, indiquera les groupes de parcelles, si possible regroupées géographiquement, qui seront exploitées en année 1 à 6 du PSG1.

Avec l'aide du gestionnaire de la centrale, il sera demandé chaque année un permis pour couper les taillis de ces 9 ha. Si les besoins en bois énergie augmentent par ailleurs, la production de ces parcelles pourra être supplée par celle des parcelles communales en cours de plantation et par les déchets de sciage et les résidus agricoles.

Après discussions et échanges à la DREF Haut Mangoro, les étapes et procédures d'octroi de permis de coupe proposées sont les suivantes :

Gestion sylvicole

À Didy, il s'agit essentiellement d'*E. robusta*. Ces parcelles n'ont pas fait l'objet d'exploitations trop intenses. Avec une gestion adéquate, il n'y a aucune inquiétude sur leur avenir et sur la durabilité de la production.

Les règles sylvicoles proposées pour alimenter la centrale sont :

- Taillis simple,
- Rotation de taillis : 6 ans,
- Hauteur de coupe : 5-10 cm au-dessus de la base du rejet pour les brins de taillis,
- Mise en défens temporaire contre le feu l'année qui suit la coupe, pâturage libre.

Conclusions

La consommation en bois des centrales dépend de plusieurs facteurs : la durée journalière d'usage de la centrale qui dépendra de la charge demandée en électricité, le type de bois qui joue sur le pouvoir calorifique (les bois jeunes ayant un pouvoir calorifique plus faible que des bois plus vieux car plus dense), et également l'humidité du bois (plus le bois est humide, plus il faut de l'énergie pour évaporer l'eau du bois). Les chiffres de consommation seront affinés avec l'usage des centrales et l'expérience croisée des différents sites. Avec l'expérience acquise dans la commune d'Andaingo, nous évaluons la consommation entre 1000 et 1500 stères par an (soit entre 330 à 500 tonnes de bois par an ou encore 550 à 830 m³ de bois ronds par an)

À Befeta et Mahaditra, à partir d'une hypothèse basse de productivité de 6 m³/ha/an pour le seul approvisionnement des centrales et en considérant que la production de ces plantations pourrait également servir à d'autres usages, l'approvisionnement des centrales ne pose pas de problème. La situation est différente à Didy où la surface disponible est plus petite mais une productivité évaluée à 12 m³/ha/an du fait du climat, de la faible exploitation antérieure des plantations et de la fertilité des sols

Dans l'hypothèse où les centrales ne sont alimentées que par du bois de plantations d'Eucalyptus (espèce rejetant très bien de souche ce qui ne nécessite pas de replantation avant plusieurs décennies), nous avons montré que les productions de celles-ci étaient suffisantes sinon largement suffisantes, même dans le cas de Didy.

Dans les 3 communes, l'activité agricole génère des déchets en quantité non négligeable qui n'a pas été considérée ici, mais qui peut venir en déduction des besoins en bois. Nous avons aussi montré que sur les 3 communes la présence d'une électricité à prix raisonnable et en quantité suffisante peut générer des activités de transformation du bois sur les chefs-lieux. Ces activités sont sources de déchets de bois qui seront sur place à proximité des centrales et viendront en déduction des besoins en provenance des plantations.

En conclusion, la mise en place de ces centrales et leur demande en bois vont créer en amont un marché et structurer une filière qui reposera sur un aménagement durable. L'impact de ces centrales en aval va générer des activités qui vont elles-mêmes apporter de la biomasse utilisable par les chaudières.

Situation de référence et éléments d'évaluation des effets de l'électrification rurale décentralisée biomasse vapeur

Jean-François BELIERES, Daniel ANDRIAMBOLANORO,
Landy Holy Harifera ANDRIAMIALIRANTO,
Andoniaina Vatosoa ANDRIAMIFIDY

Introduction

Le projet BIOENERGELEC est la réponse faite par le CIRAD et ses partenaires malgaches, ADER, FOFIFA et PARTAGE, à l'appel à proposition Facilité Energie I d'octobre 2007, comme une action de lutte contre la pauvreté, par l'accès à l'électricité, des populations de communes rurales, non susceptibles d'avoir cet accès par le réseau électrique national.

Comme souligné dans les articles précédents, le projet a fait le choix d'une Electrification Rurale Décentralisée (ERD) par développement de la technologie biomasse et moteur à vapeur qui puisse créer d'une part, en amont, une filière d'approvisionnement en combustibles ligneux (bois) ou non ligneux (balle de riz) et d'autre part, en aval, d'assurer, par la production d'énergie électrique moins chère que celle produite avec des groupes diesel, une possibilité pour les consommateurs domestiques ou artisans d'améliorer leur niveau de vie.

Les aléas rencontrés par le projet, déjà explicités précédemment, n'auront pas permis de présenter l'impact de cette ERD biomasse sur le niveau de vie des populations bénéficiaires. Néanmoins, le projet a pu, dès le début de son intervention en 2009, développer une méthodologie pour mesurer cet impact de l'ERD. Entre 2009 et 2010, les partenaires techniques ont réalisé, dans les six communes cibles les enquêtes programmées. L'article présente cette méthodologie et les résultats obtenus, et notamment le niveau de pauvreté avant l'installation des équipements et leur mise en fonctionnement.

Selon la Banque Mondiale (2008)¹, ces impacts sont, notamment, l'amélioration des conditions de vie des populations (santé et éducation à travers les activités communautaires), le développement des activités artisanales et de services des ménages avec des effets positifs sur l'emploi et la distribution des revenus, l'amélioration des biens publics (éclairage public pour la sécurité, éclairage et fonctionnement d'appareils avec des effets sur l'éducation et la santé). Les résultats de cette étude montrent que l'électricité sert d'abord à l'éclairage et au fonctionnement d'appareils électriques ; il n'y a donc généralement pas d'économie en bois ou charbon de bois utilisés pour la cuisine par les ménages. L'électrification rurale profiterait d'abord

¹ Ce rapport de 2008, présente les résultats d'une étude d'évaluation menée par l'Independent Evaluation Group (IEG) de la Banque Mondiale sur une partie des 120 projets financés par cette organisation, depuis le début des années 80, dans le monde.

aux « non pauvres », mais l'étude citée précise que parmi les projets analysés peu ont des opérations qui facilitent le raccordement aux réseaux des ménages pauvres (systèmes de crédit, prix préférentiels, etc. il n'y a donc pas de résultats pour analyser les effets d'une électrification sur des populations pauvres. En raison des options techniques de valorisation de la biomasse locale (en particulier issue des plantations forestières, des résidus de la transformation du bois ou des sous-produits agricoles), le projet BIOENERGELEC s'inscrit dans une dynamique plus large qui vise à donner une impulsion supplémentaire aux économies locales avec le développement de filières d'approvisionnement de la centrale, et donc, la création localement d'emplois et de richesse. Enfin, les unités installées doivent permettre de produire une électricité moins chère qu'avec des combustibles fossiles, et ainsi, faciliter l'accès à des ménages aux revenus plus modestes.

Comme dans tout projet, la question de l'évaluation s'est posée notamment vis-à-vis des objectifs de réduction de la pauvreté et de développement économique et social, et une méthodologie adaptée a été définie en s'inspirant des méthodes d'évaluations aléatoires. Elle comprend l'établissement d'une situation de référence relativement détaillée au démarrage du projet, en prévision de l'évaluation finale. En raison des retards pris dans la mise en œuvre du projet et de la faible durée de fonctionnement des centrales, il est encore trop tôt aujourd'hui pour tenter d'évaluer les impacts.

Les travaux d'enquêtes pour établir la situation de référence ont été réalisés. Les résultats permettent de faire une présentation détaillée des systèmes d'activités des ménages, des niveaux de pauvreté mais aussi des attentes des ménages vis à vis de l'électrification au démarrage du projet. Quelques résultats sur les impacts de l'électrification sont présentés ici ; ils ont été obtenus dans le cadre du projet Gestion forestière communale et communautaire (GESFORCOM) qui a implanté une installation similaire de production d'électricité à partir de la biomasse dans la commune rurale d'Andaingo dans la région Alaotra-Mangoro. Ainsi, cet article est construit en trois parties : la première présente la méthodologie d'évaluation ; la deuxième est consacrée aux résultats des enquêtes sur la situation socioéconomique des ménages des communes concernées et leurs attentes vis-à-vis de l'électrification ; la troisième présente les premiers effets de l'électrification sur les ménages de la commune d'Andaingo avec notamment les changements de comportement des ménages ayant un accès régulier à l'électricité du réseau.

Méthodologie retenue pour l'évaluation

Une méthodologie d'évaluation adaptée au projet BIOENERGELEC a été élaborée en s'inspirant des méthodes d'évaluation d'impacts des projets de développement, tout en restant réalisable dans le cadre d'un programme au financement relativement réduit.

UNE MÉTHODOLOGIE INSPIRÉE DES ÉVALUATIONS ALÉATOIRES

Aujourd'hui, les évaluations aléatoires sont de plus en plus utilisées pour l'analyse de l'impact des programmes sociaux et de développement (Duflo, 2005). Comme le rappelle Pamies-Sumner (2014), «*Les évaluations d'impact, au sens strict du terme, sont des évaluations qui visent à mesurer les effets strictement attribuables à une intervention. Pour ce faire, elles se basent sur la notion de contrefactuel : il s'agit ainsi de comparer la situation d'un groupe de bénéficiaires d'une intervention à celle d'un groupe dit de contrôle, le plus comparable possible ex ante au groupe de bénéficiaires*». La comparaison de ces groupes après intervention permet d'obtenir une mesure non biaisée de l'impact du programme. Et si la méthode surmonte un nombre important de limites des évaluations non-expérimentales, elle partage aussi certaines difficultés inhérentes à toute évaluation, telle que la possibilité de généraliser les résultats (Pariété, 2008). Par ailleurs, elle est difficile à mettre en œuvre notamment en raison de la constitution des deux groupes et il existe un biais d'expérimentation quand les ménages ou individus de chaque groupe connaissent leur situation.

Les spécificités du projet BIOENERGELEC justifiaient d'une méthodologie spécifiquement adaptée pour son évaluation, car :

- Les communes retenues l'ont été sur la base de caractéristiques spécifiques qui les rendent uniques et il n'était pas possible de trouver des « témoins » qui permettraient de comparer les situations avec et sans programme ;
- Le branchement au réseau électrique est un acte volontaire qui entraîne des dépenses monétaires pour le nouvel abonné, il n'est donc pas possible de procéder, au démarrage du projet, à un tirage au sort de deux échantillons de ménages qui pourraient être comparés.

Il n'y avait donc pas de réelle possibilité pour une évaluation d'impact par « assignation aléatoire ». Par ailleurs, une telle méthode aurait nécessité des moyens sans commune mesure avec les financements obtenus. Une méthodologie alternative a donc été définie qui s'inspire de la méthode des doubles différences (en anglais *differences in differences*), qui fait aussi partie des méthodes d'évaluation aléatoire et qui consiste à comparer la situation des individus bénéficiaires à celle des non-bénéficiaires avant et après l'intervention (dont on cherche à mesurer l'impact). Cette méthode qui combine des approches « avec/sans » et « avant/après », repose, en pratique, sur des régressions linéaires et suppose que la différence observée avant l'intervention entre groupe de bénéficiaires et groupe de contrôle, constitué de façon ad hoc, soit constante dans le temps. Si elle est conceptuellement simple, cette méthode présente des limites importantes (Fougère, 2010). La validité des estimations repose sur le parallélisme de l'évolution entre les deux groupes (Pariéty, 2008) ; or dans notre cas il y a de fortes chances que les ménages qui se branchent au réseau (qui participent au programme) aient une certaine propension à augmenter leurs revenus plus rapidement que ceux qui ne participent pas (des chefs de ménages certainement moins entreprenants et moins tentés de prendre des risques), le biais de sélectivité risque donc d'être important car une part de la réduction de la pauvreté qui pourrait être attribuée à l'électrification pourrait, en fait, venir d'autres paramètres. Malgré ces limites, un protocole a été mis en place de manière à disposer des informations qui, une fois le projet achevé, permettent au mieux de mener ce type d'évaluation, au pire de mener une évaluation qualitative de qualité.

LES OPTIONS RETENUES

Pour disposer d'informations qui permettent en fin de projet de faire des comparaisons entre ménages avec et sans électricité, l'établissement de la situation de référence a été faite en adoptant les options suivantes :

- Un hameau voisin ne devant pas être relié au réseau électrique a été intégré dans les enquêtes pour permettre, en fin de projet, des comparaisons entre ménages aux caractéristiques semblables au démarrage du programme ; les uns résidant dans les hameaux concernés et les autres dans le hameau sans électricité ;
- Au sein des hameaux concernés par l'électricité, l'option retenue est de pouvoir comparer, en fin de projet, des ménages qui avaient des caractéristiques semblables au démarrage du programme, mais qui se sont scindés en deux groupes l'un avec électricité et l'autre sans électricité.

Puisqu'il n'est pas possible d'identifier dès le départ les ménages qui vont effectivement se raccorder au réseau et ceux qui ne vont pas se raccorder au réseau, il a été retenu, étant donné le nombre somme toute limité de ménages potentiellement concernés par le programme, de procéder à une première enquête auprès de l'ensemble des ménages des hameaux concernés et du hameau témoin.

Ce recensement a permis d'élaborer une situation précise au démarrage du programme et de constituer une base de sondage pour établir la situation de référence, mais aussi en situation d'évaluation finale, après une enquête du même type et un traitement permettant de faire apparaître les évolutions, de proposer une base de sondage pour la constitution de groupes spécifiques de ménages basés sur ces évolutions : (i) avec et sans électricité selon la situation de départ comme prévu ; (ii) mais aussi selon d'autres critères avec par exemple un groupe supplémentaire de ménages constitué par ceux qui ont abonné.

Le tableau 1 présente les différentes étapes de cette évaluation. Seules celles pour l'élaboration de la situation de référence seront présentées. La mise en œuvre en fin de projet sera fonction de l'état d'avancement des activités et des moyens disponibles (révision des questionnaires d'enquête, typologie pour l'échantillonnage, taille des échantillons, etc.

Tableau 1 : Les étapes du protocole d'évaluation pour chacune des communes

N°	Opérations	Objectifs visés	Actions à mettre en œuvre
Situation de référence			
A1	Diagnostic de la commune	Connaissance de la situation socio-économique initiale de la commune	Diagnostic pluridisciplinaire
A2	Caractériser tous les ménages des hameaux retenus	Constituer une base de données de tous les ménages au démarrage du projet Base de sondage pour enquêtes détaillées	Enquête exhaustive pour caractériser les ménages et leurs moyens d'existence
A3	Déterminer le niveau de pauvreté	Disposer d'indicateurs de pauvreté des ménages au démarrage du projet	Enquête d'un échantillon représentatif pour déterminer les revenus des ménages
A4	Part de l'énergie dans les activités potentiellement impactées	Disposer d'indicateurs sur l'importance, l'efficacité et la compétitivité des activités avant l'électrification	Enquête budgets d'activités auprès d'un échantillon d'entrepreneurs (micro-entreprises)
Evaluation en fin de projet			
F1	Diagnostic de la commune	Identifier les principaux changements socio-économiques depuis le démarrage du projet	Nouveau diagnostic pluridisciplinaire participatif (avec les acteurs concernés)
F2	Caractériser tous les ménages des hameaux électrifiés et du hameau témoin	Constituer une base de données des ménages en fin de projet pour comparaison avec situation de référence Base de sondage pour enquêtes détaillées	Enquête exhaustive pour caractériser les ménages et leurs moyens d'existence et connaître leur implication dans les différentes filières générées par le projet
F3	Constituer les groupes pour les comparaisons	Classer les ménages selon les critères : avec électricité, sans électricité, qui ont abandonné, bénéficiaires des filières, non bénéficiaires	Traitement des deux bases disponibles (initiale et fin de projet)
F4	Enquêtes sur échantillon ménages de chaque groupe	Comparer la situation des ménages de chaque groupe pour analyser les effets de l'électrification et de la création de nouvelles filières	Enquête détaillée sur moyens de production, activités, revenus et consommation et extrapolation des résultats
F5	Enquêtes sur les activités impactées par l'électrification	Analyser les effets du programme sur les activités économiques locales	Enquête budget d'activités pour déterminer chiffre d'affaire, marge et part de l'énergie dans prix de revient Comparaisons avec la situation en début de projet
F6	Analyse finale	Disposer des effets de l'électrification sur le niveau de pauvreté et sur le développement économique des zones concernées	Analyse statistique pour mesurer : (i) les effets sur revenus, consommations, activités et biens durables possédés pour chaque groupe (ii) l'évolution de la création de valeur ajoutée et sa répartition pour les filières impactées Analyse économétrique pour la comparaison des deux groupes de ménages avec et sans électricité

ETABLISSEMENT DE LA SITUATION DE RÉFÉRENCE

Pour élaborer la situation de référence, deux enquêtes ont été menées auprès des ménages² :

- La première est un recensement de tous les ménages des hameaux concernés (hameaux ou quartiers qui seront électrifiés et hameau ou quartier témoin) avec une collecte de données pour caractériser les moyens d'existence (facteurs de production et capacités) ; faire l'inventaire des matériels et équipements et des sources d'énergie ; et connaître les attentes vis-à-vis de l'électrification.
- La deuxième est une enquête détaillée pour déterminer les revenus annuels des ménages et leurs dépenses de consommation. Elle est effectuée sur un échantillon de ménages tirés au sort dans la liste issue de la première enquête. La taille de l'échantillon varie de 60 à 120 ménages selon l'importance de la population.

2 Le dispositif et les outils de collecte (questionnaires et manuels des enquêteurs) sont présentés dans les rapports de projet (Bélières et al., 2009 et Bélières et al., 2010).

L'analyse des données collectées a permis d'établir la situation de référence avec deux bases de données disponibles pour l'évaluation finale : un inventaire exhaustif des ménages, de leurs équipements et de leurs activités en 2010 ; les données sur les revenus et dépenses de consommation, en 2009, d'un échantillon représentatif de ménages (l'enquête a été faite en 2010 mais a porté sur l'année 2009).

Par ailleurs, les deux mêmes enquêtes ont été réalisées en 2010 dans la commune d'Andaingo (projet GESFORCOM), ce qui permet d'intégrer cette commune dans l'établissement du diagnostic sur la situation socio-économique des ménages en début de projet (établissement de la situation de référence). Ce sont quelques éléments de ce diagnostic qui sont présentés dans la partie suivante.

Situation socio-économique des ménages

Nous ne revenons pas ici sur les critères de choix des différentes communes, ni sur leurs caractéristiques physiques et socio-économiques qui ont déjà été présentés (voir article 3). Ce point est focalisé sur la situation de référence des ménages au démarrage du projet. Or cette situation est en grande partie liée aux caractéristiques spécifiques de chacune des communes qui doivent être prises en compte dans toute tentative de comparaison entre communes. Les principaux résultats présentés ici ont fait l'objet de rapports de projet (et notamment Bélières et *al.*, 2010, et Bouquet et Ralison, 2012).

Tableau 2 : Localités et population enquêtées

Communes	Fokontany	Hameaux		Ménages		Nombre total de personnes
		Nombre	Electrification	Nombre	% Electrification	
Didy	2	11	10	780	83%	3 876
Ambohijanahary	5	5	4	1198	94%	5 617
Manerinerina	1	8	6	760	89%	3 982
Ifarantsa	2	4	3	325	91%	1 644
Befeta	1	3	2	238	92%	1 142
Mahaditra	1	5	3	294	84%	1 453
Ensemble	12	36	28	3 595	89%	17 707

Le recensement a porté sur 3595 ménages (voir tableau 2) qui sont, à quelques rares exceptions près (personnes absentes qui n'ont pu être enquêtées ou chefs de ménage qui ont refusé de répondre), tous les ménages présents au démarrage du projet dans les hameaux concernés par l'électrification et dans les hameaux témoins. Au total, 36 hameaux appartenant à 12 fokontany³ ont été recensés dont 8 ne seront pas connectés au réseau électrique.

Les différences entre les communes sont fortes avec moins de 300 ménages recensés dans les 3 hameaux du seul fokontany concerné de Befeta et près de 1200 ménages à Ambohijanahary. Au total, ce sont plus de 17 700 personnes qui ont été inventoriées. Ce recensement a permis de préciser les données de population fournies par les responsables des communes lors des premières investigations, puisque le nombre total de ménages dans les hameaux concernés par l'électrification était évalué à environ 5 000 ménages, soit un nombre nettement au-dessus de la réalité. Ainsi, cette phase de recensement a un intérêt qui va au-delà de la constitution de la base de données de la situation de référence.

La capacité productive des ménages est souvent liée à la force de travail familiale, pourvu que les autres facteurs de production ne soient pas limitant. Le nombre d'actifs partiels ou complets au niveau du ménage

3 Subdivision administrative des Communes.

est bien plus important que le nombre d'actifs théoriques calculés, souvent les enfants participent très tôt aux activités de production agricoles ou d'élevage.

QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES MÉNAGES AU DÉBUT DU PROJET

Pour caractériser les ménages nous avons retenu comme indicateurs : la taille démographique, le niveau d'instruction, l'origine, le statut du logement et leur consommation d'électricité.

Taille des ménages

Les caractéristiques structurelles par âge et par sexe de la population enquêtée sont les suivantes : un peu moins d'hommes que de femmes (rapport de masculinité de 99%), une taille moyenne des ménages de 4,9 personnes, un âge moyen du chef de ménage de 43 ans, 16% des chefs de ménage sont des femmes, une population très jeune avec 55% des individus qui ont moins de 20 ans, et un taux de dépendance démographique⁴ de 83%. Ces caractéristiques sont très proches de celles de l'ensemble de la population rurale malgache, si l'on se réfère aux résultats de l'Enquête Périodique auprès des Ménages de 2010 (INSTAT, 2011)⁵. Il y a cependant une différence notable en ce qui concerne la répartition selon les classes d'âge avec pour EPM 2010, une population plus jeune et un ratio de dépendance démographique plus élevé avec 95 pour l'ensemble de la population, 100 en milieu rural et 78 en milieu urbain. On peut expliquer cette différence avec les variations entre régions puisque parmi les localités enquêtées, trois des plus importantes en nombre de ménage, sont localisées dans deux régions où le ratio de dépendance démographique est nettement plus faible que la moyenne nationale⁶.

Mais ces caractéristiques moyennes cachent de fortes disparités entre les ménages au sein de l'ensemble de l'échantillon mais aussi entre les communes. La figure 1 présente la répartition des ménages et de la population selon la taille démographique du ménage, pour l'ensemble des localités enquêtées. On note que 28% des ménages sont constitués de 3 personnes ou moins ; ces petits ménages regroupent 14% de la population. À l'autre extrémité, 22% des ménages ont 7 personnes ou plus et regroupent 37% de la population. Cette variabilité intra localité est nettement plus importante que la variabilité entre localités. On retrouve cependant des écarts significatifs pour la taille moyenne des ménages entre les localités (voir tableau ci-dessous) qui va de 4,7 personnes par ménage à Ambohijanahary à 5,2 personnes par ménage à Manerinerina et un nombre moyen d'actifs théoriques qui ne suit pas tout à fait la taille moyenne des ménages, en liaison avec la pyramide des âges et les ratios de dépendance.

Figure 1 : Répartition des ménages et de la population selon la taille du ménage

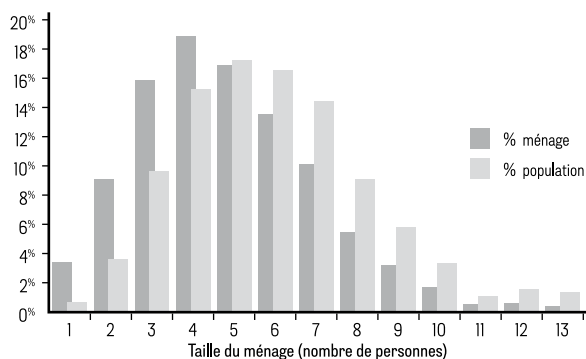


Tableau 3 : Taille moyenne des ménages

	Personnes/ménage	Actifs théoriques*
Didy	4,97	2,50
Ambohijanahary	4,69	2,59
Manerinerina	5,23	2,65
Ifarantsa	5,06	2,77
Befeta	4,80	2,51
Mahaditra	4,94	3,04
Ensemble	4,93	2,63

* Personnes entre 15 et 64 ans

4 Le ratio de dépendance démographique correspond au nombre de personnes démographiquement dépendantes (âgées de moins de 15 ans ou de plus de 65 ans) pour 100 personnes démographiquement indépendantes (âgées de 15 ans à 65 ans).
 5 Selon l'EPM de 2010, à Madagascar pour la zone rurale, le rapport de masculinité est de 99%, la taille moyenne des ménages de 4,9 personnes, l'âge moyen du chef de ménage de 42 ans et 18,5% des chefs de ménage sont des femmes.
 6 Didy et Ambohijanahary sont localisés dans la région Alaotra-Mangoro et Manerinerina dans la région Boeny dont les ratios de dépendance moyens sont respectivement, pour le milieu rural de 86 et 91.

Si l'on compare les ménages des hameaux électrifiés avec ceux des hameaux qui ne le seront pas, on a globalement des moyennes significativement différentes avec des ménages en moyenne de plus grande taille, cependant les analyses au niveau de chacune des communes indiquent que ces différences ne sont pas significatives sauf pour Didy où les moyennes sont respectivement de 4,86 et 5,50 personnes par ménage.

La taille des ménages et la composition de la famille, avec notamment le ratio entre bouches à nourrir et personnes actives, est un élément qui influe sur le niveau de pauvreté monétaire des ménages.

Niveau d'instruction de la population

Le niveau d'instruction de la population a été évalué en prenant comme référence la méthode utilisée dans EPM 2010 (INSTAT, 2011). La population âgée de plus de quatre ans a été classée en quatre catégories selon le niveau scolaire atteint :

- Niveau 0 - Sans instruction : ceux qui n'ont jamais fréquenté l'école ou qui ont atteint au maximum la troisième année du primaire ;
- Niveau 1 - Niveau primaire : ceux qui ont achevé au moins la quatrième année du primaire (T4 ou la classe de 8^{ème}) et n'ont pas dépassé la classe de 4^{ème} des collèges ;
- Niveau 2 - Niveau secondaire : ceux qui ont achevé au moins la classe de 3^{ème} des collèges et au plus une classe terminale ;
- Niveau 3 - Niveau supérieur : ceux qui ont obtenu le baccalauréat ou ont déjà fréquenté un établissement d'enseignement supérieur.

Tableau 4 : Niveau d'instruction de la population des plus de 4 ans

Communes	0 Sans_Instruction	1 Primaire	2 Secondaire	3 Supérieur	Total
1 Didy	37%	48%	14%	1%	100%
2 Ambohijanahary	32%	43%	23%	2%	100%
3 Manerinerina	53%	34%	11%	3%	100%
4 Ifarantsa	56%	31%	11%	1%	100%
5 Befeta	32%	40%	25%	3%	100%
6 Mahaditra	24%	42%	31%	4%	100%
Ensemble	39%	41%	18%	2%	100%

Globalement, dans notre échantillon, la part des personnes classées sans instruction (39%) est légèrement supérieure à la moyenne nationale (37% selon INSTAT, 2010). Mais les variations sont fortes au niveau national entre régions avec le taux le plus bas à Analamanga avec 16% (région de la capitale) et le taux le plus haut à Ansoy (68%). Il y a aussi de fortes variations entre les communes avec Manerinerina et Ifarantsa qui ont des taux élevés (respectivement 53% et 56%) et Mahaditra, Befeta et Ambohijanahary qui ont des taux relativement bas. Les personnes avec un haut niveau d'instruction (secondaire et supérieur) sont mieux représentées qu'au niveau national avec 20% contre seulement 12% pour l'ensemble du pays ; les communes de Mahaditra, Befeta et Ambohijanahary sont particulièrement bien dotées avec respectivement, 35%, 28% et 25%.

Pour les chefs de ménage, et en reprenant les niveaux d'instruction utilisés ci-dessus, 27% d'entre-eux sont classés sans instruction, alors que plus de 4% ont le niveau enseignement supérieur. Pour les chefs de ménage de sexe féminin, la part des sans instruction est un peu plus élevée (35% et 26% pour les hommes). Cette disparité est héritée du passé, car aujourd'hui si l'on compare pour l'ensemble de la population de plus de 4 ans, les taux entre les sexes sont identiques. Enfin, on retrouve pour les chefs de ménage, la disparité constatée entre communes pour l'ensemble de la population : le taux des chefs de ménage sans instruction est plus fort à Manerinerina et Ifarantsa ; le taux des chefs de ménage avec un niveau secondaire ou supérieurs est élevé à Befeta et Mahaditra.

Ainsi, le niveau d'instruction de la population enquêtée est proche de la moyenne nationale, mais on note de fortes variations entre communes et des écarts plus marqués à l'intérieur des communes avec de

forts taux pour le groupe des personnes sans instruction mais aussi pour celui des personnes avec un bon niveau d'instruction.

Importance des ménages installés récemment

Parmi les ménages recensés, et hormis pour Ifarantsa, nombreux sont ceux qui ne sont pas originaires de la localité mais qui sont venus s'y installer (globalement 23%). Le taux le plus élevé concerne la commune de Manerinerina avec 41% des ménages (tableau 5). Ce taux s'explique certainement par sa localisation le long d'un axe routier qui attire les ménages à la recherche d'une diversification des activités, de facilités pour le commerce et de meilleures conditions de vie. Ce taux est également important à Didy (avec 26% des ménages).

Tableau 5 : Importance des ménages migrants et période d'installation dans la localité

Communes	% de ménages migrants	Période d'installation		
		Avant 1991	1991-2000	Depuis 2001
1 Didy	26%	8%	32%	60%
2 Ambohijanahary	19%	25%	27%	48%
3 Manerinerina	41%	24%	26%	50%
4 Ifarantsa	3%	4%	20%	76%
5 Befeta	13%	20%	40%	40%
6 Mahaditra	18%	9%	23%	68%
Ensemble	23%	19%	28%	53%

L'installation des ménages de migrants est relativement récente : globalement plus de la moitié des ménages se sont installés dans une période postérieure à l'an 2000 (soit une dizaine d'années). On note que ces ménages de migrants récents sont dans des situations plus précaires⁷ ce qui constitue une contrainte pour le raccordement au réseau électrique, car ils ont peu de ressources pour faire face aux dépenses.

L'importance des installations récentes indique qu'il existe des mouvements de population qui tendent à accélérer la croissance démographique dans les bourgs et villes secondaires.

Les migrants proviennent⁸, pour un peu plus de la moitié (53%), d'une région différente. Ces résultats indiquent des migrations qui vont au-delà de simples déplacements de la campagne vers la ville. Les régions d'origine sont nombreuses mais les deux les plus citées (25% des réponses) sont Analamanga, la région de la capitale qui a le taux de pauvreté le plus bas, et Atsimo-Atsinanana, au Sud-Est qui est l'une des régions avec le plus fort taux de pauvreté selon EPM 2010 (INSTAT, 2011). Les raisons principales de ces migrations sont d'abord la recherche d'un travail (près de 50% des réponses) puis l'amélioration des conditions de vie (23%) pour les migrations intra-régionales, et, un mariage, l'exercice d'activités commerciales, un retour dans la région d'origine de la famille... pour les migrations en provenance d'autres régions.

L'électrification devrait renforcer l'attractivité des localités concernées et donc amplifier l'installation de nouveaux ménages, avec des effets à la fois sur la demande en électricité mais aussi, sur le niveau de vie moyen des ménages, car comme indiqué précédemment, les nouveaux venus ont le plus souvent des capacités productives moindres.

Statut du logement

Les ménages habitent, en grande majorité, un appartement ou une maison dont ils sont propriétaires (globalement 73% des ménages - voir tableau 6).

7 Ces ménages ont un accès à la terre réduit par rapport aux ménages installés depuis longtemps (seulement 4 à 17% de la superficie moyenne selon les localités) et un cheptel nettement moins important (13 à 63% du cheptel moyen).

8 Le questionnaire pour la première enquête de recensement ne comportait pas de questions pour déterminer l'origine et les raisons des déplacements des migrants, mais ces questions ont été intégrées dans le questionnaire de l'enquête détaillée. Les résultats présentés ici sur l'origine de la migration porte sur l'échantillon de 244 ménages, et non sur l'ensemble de la population.

Tableau 6 : Appropriation du logement

Communes	Propriétaire	Locataire	Hébergé gratuitement	Logement de l'État
Didy	74%	21%	6%	0%
Ambohijanahary	73%	17%	7%	3%
Manerinerina	70%	23%	6%	1%
Ifarantsa	87%	5%	6%	2%
Befeta	76%	13%	10%	1%
Mahaditra	62%	29%	6%	2%
Ensemble	73%	19%	7%	2%

La situation varie selon les communes avec 87 % de propriétaires à Ifarantsa et seulement 62 % à Mahaditra. La part des ménages hébergés gratuitement varie assez peu de 6 à 10 %. Celle des ménages occupant un logement de fonction est très faible 0 à 3 %.

Les variations des taux de propriétaires se retrouvent au niveau des locataires qui varient de 5 % à Ifarantsa jusqu'à 29 % à Mahaditra. Il existe une relation entre propriété du logement et origine du ménage : plus de la moitié des ménages locataires sont des migrants récents.

La part des ménages locataires est conséquente ce qui constitue une limite au développement du réseau, car souvent les propriétaires ne souhaitent pas faire les investissements nécessaires pour raccorder le logement loué au réseau.

Energie électrique

Globalement, seulement 15 % des ménages consomment de l'électricité (voir Tableau 7 : Nombre de ménages qui utilisent de l'électricité). Ce taux varie selon les communes avec une proportion importante à Ambohijanahary (23 %) mais aussi à Manerinerina et Didy (avec respectivement 14 et 12 %). Cette proportion semble liée à la taille des localités et certainement aux activités de services qui s'y sont développées.

Tableau 7 : Nombre de ménages qui utilisent de l'électricité

Commune	Pas d'électricité	Réseau	Groupe électrogène	Panneau solaire	Batteries	Autres	Total
Didy	685	58	32		5		780
Ambohijanahary	921		217	3	57		1198
Manerinerina	652	83	22		2	1	760
Ifarantsa	305		15	4	1		325
Befeta	224		11	2	1		238
Mahaditra	268		22	3	1		294
Ensemble	3 055	141	319	12	67	1	3 595

On note la présence de deux petits réseaux électriques qui alimentent 58 ménages à Didy et 83 ménages à Manerinerina. À Ambohijanahary ce sont les groupes électrogènes qui se sont développés avec 18 % des ménages qui en bénéficient (directement ou par l'intermédiaire d'un autre ménage) et qui ont favorisé le développement de la consommation d'électricité par l'intermédiaire de batteries pour lesquelles les ménages payent la charge auprès d'un ménage équipé avec un groupe. Les panneaux solaires restent rares (12 ménages au total). Enfin on note qu'un ménage de Manerinerina est équipé avec une éolienne.

La situation traduit une demande réelle en électricité avec une part plus ou moins importante de ménages qui a investi pour accéder à cette énergie. L'importance de la demande est liée à la taille des localités.

ACTIVITÉS, CAPACITÉS PRODUCTIVES ET ÉQUIPEMENTS DES MÉNAGES

Le ménage constitue une collectivité à l'intérieur de laquelle s'exerce solidarité, partage des tâches, mise en commun des ressources, dépenses collectives. Les activités productives ou génératrices de biens et services et les diverses sources de revenus des membres du ménage se combinent et constituent le « système d'activités » du ménage (Paul *et al.*, 1994, Sourisseau *et al.*, 2012). Dans le cadre de l'enquête menée, les activités de chaque membre ont été relevées de même que les sources de revenu complémentaires (rentes, transferts, etc.). La diversification des activités au sein d'un ménage rural constitue une stratégie pour réduire les risques ou pour surmonter des difficultés structurelles ou conjoncturelles, mais elle peut aussi viser une amélioration des conditions de vie avec des revenus issus d'activités plus rémunératrices (Barrett *et al.*, 2001 ; Losch *et al.*, 2013).

Activités des ménages

D'une manière générale, le nombre moyen d'actifs réels par ménage est plus faible que le nombre moyen d'actifs théoriques avec pour l'ensemble de la population enquêtée : 2,32 actifs par ménage contre 2,63 actifs théoriques par ménage. La différence s'explique, en grande partie, par le fait que les personnes qui n'ont pas d'activité productive (par exemple qui se limitent aux tâches ménagères pour les femmes) n'ont pas été comptabilisées comme actifs.

L'agriculture au sens large (activités primaires : productions végétales, élevage, pêche, foresterie, chasse, cueillette, et première transformation agricole) est généralisée puisque globalement seulement 16 % des ménages n'ont aucune activité agricole (voir tableau 8). C'est à Ambohijanahary et Mahaditra que ce taux est le plus élevé (21 %) ; ces deux localités ont une économie plus diversifiée.

Tableau 8 : Répartition des ménages selon l'importance de l'activité agricole (activités primaires)

Commune	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Sans activité agricole	12 %	21 %	13 %	10 %	15 %	21 %	16 %
Avec activités agricoles seulement	55 %	35 %	60 %	65 %	42 %	38 %	48 %
Avec activités agricoles et autres activités	34 %	44 %	26 %	25 %	43 %	41 %	36 %

Les ménages spécialisés dans les activités agricoles sont presque majoritaires (48 %) au niveau général et très majoritaires dans les communes où il y a moins d'opportunités de développement des activités de service et en particulier à Ifarantsa (65 % des ménages), Manerinerina (60 %) et Didy (55 %). La pluriactivité est largement répandue et concerne plus du tiers des ménages.

En raison de l'importance de l'agriculture, les revenus (monétaires et non monétaires avec une part importante de la production autoconsommée) et le niveau de vie des ménages dépendent en partie de l'accès à des facteurs de production agricole que sont le foncier, le cheptel et les équipements.

Le foncier

Les localités sont dispersées sur le territoire malgache et appartiennent à des systèmes agraires très différents. Cependant, la production de riz est une constante que l'on retrouve dans toutes les régions, même si les systèmes de culture peuvent différer (irrigué, pluvial).

Une part importante (19 %) des ménages n'a pas accès au foncier et ne cultive aucun champ. C'est dans les communes d'Ambohijanahary et Mahaditra que cette part est la plus importante (respectivement 25 % et 26 %). Les chefs de ces ménages sont, pour le plus grand nombre, des ouvriers ou employés (42 % globalement) : ouvriers agricoles à Ambohijanahary et à Didy et employés dans d'autres secteurs pour les autres communes.

Figure 2 : Répartition des ménages et de la superficie selon des classes de superficies

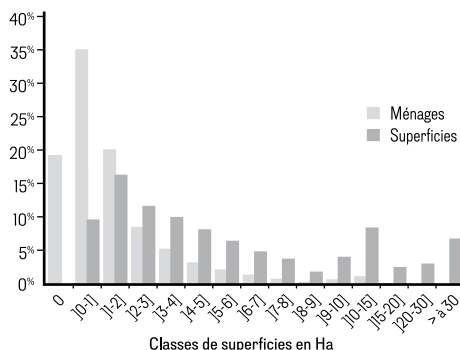
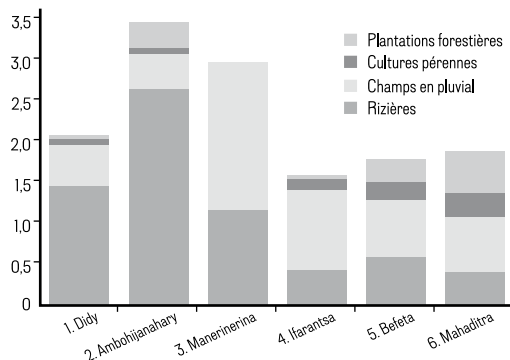


Figure 3 : Superficie moyenne par ménage selon le type de terre et par commune



La superficie moyenne disponible par famille, ayant accès au foncier, est très faible et très inégalement répartie. La figure 2 présente la répartition des ménages et de la superficie selon des classes de superficie pour l'ensemble de la population enquêtée toutes communes confondues. On retrouve la part importante (19%) des ménages qui ne cultivent pas.

Les trois premières classes (jusqu'à 2 ha) regroupent 75 % des ménages et cumulent seulement 25 % de la superficie. À la droite de la figure, les classes supérieures à 10 ha, regroupent seulement 2 % des ménages mais ces ménages disposent de 22 % de la superficie. Il y a donc une grande majorité de ménages avec de très petites superficies cultivées et quelques ménages avec de grandes superficies mais qui restent, en final, assez modestes puisque le maximum est de seulement 76 ha.

La répartition de la superficie moyenne (voir figure 3) selon les types de terre donne une bonne indication sur les systèmes agraires. La superficie moyenne la plus élevée est observée dans la commune d'Ambohijanahary avec en moyenne 3,39 ha par ménage dont 76 % sont constitués de rizières. La superficie moyenne à Manerinerina est également importante avec un total de 2,93 ha, mais dans cette zone ce sont les cultures pluviales qui dominent et qui représentent près de 60% de la superficie. À Didy, la superficie moyenne est nettement plus faible qu'à Ambohijanahary avec seulement 2,06 ha par ménage mais là aussi les rizières occupent une place prépondérante avec près de 71%. Pour les trois autres communes, la superficie moyenne, si l'on ne tient pas compte des plantations forestières, est très basse, inférieure à 1,5 ha, avec des rizières qui occupent une place beaucoup moins importante.

Les plantations forestières et les cultures perennes (vergers, vignes, etc.) ont importantes à Mahaditra (44% de la superficie moyenne) et à Befeta (29% de la superficie moyenne). Elles sont présentes, mais de manière plus modeste à Ambohijanahary (13% de la superficie moyenne). Ces trois communes ont donc un potentiel de production de bois sur des parcelles appropriées. Il faut également citer Didy qui dispose de forêts proches mais qui ne sont pas appropriées au niveau des ménages.

Tableau 9 : Importance des ménages qui cultivent et qui ne sont pas propriétaires fonciers

Avec Terre Cultivée	% des ménages	% superficie cultivée
Didy	14%	6%
Ambohijanahary	22%	12%
Manerinerina	35%	20%
Ifarantsa	16%	8%
Befeta	14%	11%
Mahaditra	10%	4%
Ensemble	21%	12%

Nombreux sont les ménages qui ne sont pas propriétaires fonciers (globalement 21%, voir tableau 9). Ce taux est élevé dans les communes de Manerinerina (35%) et d'Ambohijanahary (22%) et peut être mis en relation avec la part importante de ménages migrants en particulier à Manerinerina. Ces ménages qui ne sont pas propriétaire ont un accès limité à la terre et cultivent une part nettement plus faible de la superficie (globalement 12% de la superficie pour 21% des ménages). Un ménage qui n'est pas propriétaire cultive en moyenne une

superficie moitié moins importante qu'un ménage propriétaire (1,42 ha contre 2,67 ha). Les situations sont différentes selon les localités avec un plus grand écart à Didy (0,84 ha cultivés pour les non propriétaires et 1,52 ha pour les propriétaires) et un écart réduit à Befeta (1,15 ha cultivés pour les non propriétaires et 2,19 ha pour les propriétaires).

Le cheptel

Les animaux de traits sont exclusivement des bovins. Les moyennes sont faibles (voir tableau 10) et cachent une forte variabilité avec des coefficients de variation très élevés.

Tableau 10 : Cheptel moyen par ménage selon les communes

Types d'animaux	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Bœufs de trait	0,50	0,41	1,57	0,16	0,32	0,50	0,65
Autres bovins	0,72	0,54	2,30	2,53	0,58	1,93	1,25
Ovins	0,07	0,22	0,32	0,25	0,00	0,01	0,18
Caprins	0,04	0,04	0,12	0,01	0,00	0,01	0,05
Porcins	0,51	0,35	0,36	0,53	1,00	0,84	0,48
Gallinacées	3,53	3,92	3,85	6,64	7,01	8,55	4,65
Palmipèdes	1,99	1,65	1,05	0,40	0,72	2,19	1,47

Ces moyennes par ménage font apparaître une relative spécialisation de la commune de Manerinerina avec un nombre plus important d'animaux par ménage : plus d'un bœuf de trait, plus de deux bovins, un nombre d'ovins et de caprins plus important qu'ailleurs. La disponibilité d'un attelage est un élément important de différenciation entre ménage.

Tableau 11 : Part des ménages sans activité d'élevage

	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Ménages sans animal	39%	46%	38%	19%	26%	25%	37%

On note que globalement 37% des ménages déclarent n'avoir aucun animal d'élevage. Ce taux est particulièrement élevé dans la localité d'Ambohijanahary avec 46% et dans les localités de Didy (39%) et de Manerinerina (38%). En milieu rural, l'absence d'animaux d'élevage est souvent un indicateur de pauvreté et de forte vulnérabilité, s'il n'est pas contrebalancé par des activités permettant d'obtenir des revenus monétaires réguliers.

Pour les bovins, la répartition est plus inégalitaire encore que pour le foncier avec globalement 75% des ménages qui n'ont aucun bovin. À l'opposé, seulement 4% des ménages ont des troupeaux de bovins de plus de 10 têtes, mais ces 4% des ménages possèdent 55% de l'ensemble des bovins.

Le projet d'électrification repose sur le développement de filières d'approvisionnement de la centrale en produits combustibles (bois et sous-produits) ; la possession d'animaux de trait et de charrettes pour le transport pourrait être un élément déterminant pour les ménages qui voudront s'insérer dans ces nouvelles filières.

Les équipements

Les équipements qu'ils soient des matériels ou outils pour mener une activité productive ou de service ou qu'ils soient des biens durables du ménage ont été inventoriés. Les matériels les plus répandus sont les outils manuels agricoles (bêches, haches, sarcleuses, etc.) équipent tous les ménages pratiquant l'agriculture et 85% de l'ensemble des ménages inventoriés. Parmi les autres matériels courants, on peut citer les lampes, et en particulier la lampe à pétrole, qui équipe près de la totalité des ménages.

De nombreux appareils ménagers ont également été inventoriés, parmi eux (voir tableau 12) :

- les appareils de radio sont très nombreux (plus de 2 600 appareils inventoriés) et équipent 63% des ménages ;
- les postes de télévision sont eux aussi répandus (582 appareils recensés) et équipent 15% des ménages (jusqu'à 21% à Ambohijanahary) ;
- et surtout les téléphones portables dont plus de 2 000 unités ont été inventoriées et qui équipent le tiers des ménages (jusqu'à près de 40% à Ambohijanahary) avec un nombre de 1,7 téléphones par ménage équipé.

Tableau 12 : Matériels et équipements inventoriés

Nombre de matériels inventoriés	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Outils d'artisanat	90	286	88	219	24	62	769
dont machines à coudre	74	215	56	35	24	52	456
Appareils ménagers	1 303	2 640	1 604	259	442	600	6 848
dont télévisions	96	286	131	20	19	30	582
dont radios	667	1 071	309	121	223	267	2 658
dont téléphone portable	402	851	595	34	87	68	2 037
Matériels de chasse ou de pêche	5	218	21	6	5	0	255
Lampes pour éclairage	1 440	2 359	1 409	598	556	837	7 199
Matériel de production d'énergie	71	365	108	31	26	39	640
Matériel agricole manuel	3 078	5 044	1 038	499	414	465	10 538
Matériel pour traction animale	455	446	865	56	97	128	2 047
dont charrues/herses	411	339	596	43	65	119	1 573
dont charrettes	39	105	268	13	26	7	458
Matériel agricole en traction motorisée	390	1 331	29	6	1	3	1 760
dont tracteurs ou motoculteurs	68	291	8	0	0	0	367
dont matériel de post récolte	25	27	3	0	1	1	57
Camions ou voiture	10	26	11	0	2	5	54
Motos ou vélos	270	904	203	139	65	74	1 655
Autres matériels	132	638	2 396	2	2	19	3 189

Les autres équipements très répandus sont les vélos et motos avec 1655 unités recensées et qui équipent 36% des ménages.

Le faible taux des ménages équipés en outils à traction animale (globalement 23% des ménages) ou à traction motorisée reflète le faible niveau de mécanisation de l'agriculture (voir tableau 13). C'est à Manerinerina que le taux des ménages avec des outils à traction animale est le plus élevé, il reste cependant relativement faible avec seulement 39% sans distinguer les équipements et 36% avec des outils aratoires et 30% avec au moins une charrette. À Didy et Ambohijanahary, le taux de ménages avec traction animale est relativement faible (respectivement 24 et 15%), mais ce faible taux est compensé par une part importante de ménages qui sont équipés avec des outils en traction motorisée (respectivement 10 et 21%). Dans les trois autres communes Ifarantsa, Befeta et Mahaditra les taux de ménages équipés en traction animale sont faibles (respectivement 11%, 18% et 24%) et ce faible niveau d'équipement n'est pas compensé par des équipements en traction motorisée. Les outils de post récolte n'existent qu'à Didy et Ambohijanahary. Enfin, les camions et voitures sont peu nombreux et n'équipent que moins de 2% des ménages.

Tableau 13 : Part des ménages équipés par type de matériel

% de ménages équipés	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Nombre total de ménages	780	1 198	760	325	238	294	3 595
Outils d'artisanat	10 %	19 %	9 %	14 %	10 %	18 %	14 %
Appareils ménagers	77 %	80 %	58 %	40 %	87 %	80 %	72 %
dont téléphones portables	34 %	39 %	44 %	6 %	29 %	16 %	33 %
Matériels de chasse ou de pêche	1 %	7 %	2 %	2 %	1 %	0 %	3 %
Lampes pour éclairage	97 %	89 %	86 %	98 %	99 %	98 %	92 %
Matériel de production d'énergie	8 %	24 %	11 %	6 %	8 %	10 %	14 %
Matériel agricole manuel	92 %	92 %	72 %	84 %	81 %	72 %	85 %
Matériel pour traction animale	24 %	15 %	39 %	11 %	18 %	24 %	23 %
Matériel agricole en traction motorisée	10 %	21 %	1 %	1 %	0 %	1 %	10 %
Camions ou voiture	1 %	2 %	1 %	0 %	1 %	2 %	1 %
Motos ou vélos	29 %	58 %	20 %	34 %	22 %	21 %	36 %

On constate que l'équipement des ménages est très variable au sein d'une localité, mais qu'il existe aussi des niveaux d'équipements différents entre les localités (voir tableau 14) ; ce niveau d'équipement apparaît lié à la taille de la localité. À Ambohijanahary, la plus grande des 6 localités étudiées, le niveau d'équipement des ménages est nettement supérieur aux autres et en particulier aux petites localités. Si l'on rapporte le nombre d'habitants au nombre d'appareils, le niveau d'équipement de la localité d'Ambohijanahary apparaît nettement supérieur aux autres : 1 télévision pour 20 habitants, 1 groupe électrogène pour 24 habitants, un téléphone portable pour 1,4 habitants.

Tableau 14 : Nombre d'habitants par équipement pour les principaux appareils électriques

Appareils	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Nbre d'habitants	3 876	5 617	3 975	1 644	1 142	1 453	17 707
Télévisions	40	20	30	82	60	48	30
Réfrigérateurs	1 938	802	209	1 644		727	571
Téléphones portables	1,94	1,41	1,28	9,56	2,74	4,32	1,76
Groupes électrogènes	70	24	52	82	95	54	41

La localité de Manerinerina apparaît mieux équipée en réfrigérateurs, ce qui peut s'expliquer par un climat plus chaud, mais aussi en téléphones portables. C'est la localité d'Ifarantsa qui a le plus faible niveau d'équipement.

Le besoin global en énergie pour la consommation domestique évolue avec le niveau d'équipement des ménages et celui-ci augmente avec la taille des localités. L'électrification dans des petites localités sera donc confrontée à une demande moyenne initiale par ménage plus faible en raison d'un niveau moyen d'équipement des ménages qui est plus faible. On peut cependant émettre l'hypothèse que la disponibilité de l'offre fera croître la demande des ménages plus rapidement dans ces localités.

NIVEAUX DE PAUVRETÉ AU DÉMARRAGE DU PROJET

Les revenus et niveaux de consommation des ménages ont été évalués sur un échantillon tiré au hasard dans les 5 communes qui ont été en final retenues dans le projet (la commune d'Ambohijanahary a été écartée). L'enquête détaillée a permis de déterminer le revenu total des ménages pour l'année 2010, en reconstituant pour chacune des activités les produits bruts, les charges, les marges brutes et les marges nettes. Le revenu correspond à la marge nette. Aux marges nettes des activités ont été ajoutés les autres revenus que sont les rentes et les transferts.

Tableau 15 : Distribution de l'échantillon selon les communes

	N Echantillon	%	N recensé	Taux de sondage
Didy	79	32%	780	10,1%
Manerinerina	70	29%	760	9,2%
Ifarantsa	35	14%	325	10,8%
Befeta	30	12%	238	12,6%
Mahaditra	30	12%	294	10,2%
Total	244	100%	2 397	10,2%

Avec 244 ménages enquêtés, l'échantillon représente 10% de la population recensée. Si globalement ce taux apparaît comme conséquent, le nombre de ménages dans certaines localités est faible (mais au minimum de 30) pour faire des analyses comparatives entre différents groupes (les contraintes de moyens ont limité ces enquêtes revenus qui sont lourdes à réaliser). Les résultats seront présentés par localité.

Les revenus des ménages ont été classés en 5 catégories (voir tableau 16). Ces résultats confirment l'importance des activités agricoles pour l'ensemble des communes, sauf pour Mahaditra. Dans les quatre premières commune, 86 à 92 % des ménages ont des revenus issus des activités agricoles, ce sont donc des exploitations agricoles familiales. Mais la pluriactivité est très développée avec d'une part les activités de services (artisanat, commerce, transport) qui sont regroupées dans Activités non agricoles, qui concernent une part très importante des ménages à Befeta et Mahaditra (dans cette dernière localité, elles sont aussi importantes, en % de ménages concernés, que les activités agricoles).

Les revenus des ménages ont été classés en 5 catégories (voir tableau 16). Ces

Tableau 16 : Catégories de revenus des ménages (en %)

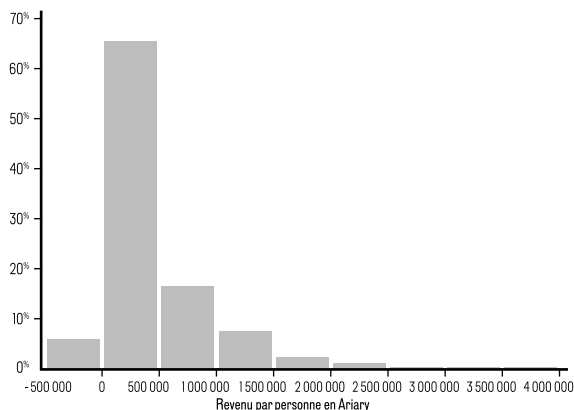
	Didy	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Total
Agriculture	92%	86%	89%	90%	57%	85%
Salariat agricole	32%	1%	6%	7%	3%	13%
Activités non agricoles	49%	31%	34%	67%	57%	45%
Salariat non agricole	15%	14%	23%	10%	37%	18%
Autres revenus	3%	7%	3%	10%	7%	5%

Totaux supérieurs à 100 % en raison de la possibilité de pluriactivité.

Le salariat agricole n'est important qu'à Didy, alors que le salariat non agricole est développé à Ifarantsa et Mahaditra. On a donc, avec cet échantillon, confirmation et précision sur les activités et les types de revenus qui caractérisent chacune des communes avant l'installation de l'ERD.

Le revenu moyen pour l'ensemble de l'échantillon est de 457 000 Ar par personne et par an, avec un coefficient de variation de 120%. La figure 4 met en évidence cette variabilité, avec d'une part quelques ménages (6%) qui ont subi des pertes au cours de l'année 2010. Ces pertes sont liées aux activités agricoles et le plus souvent aux activités d'élevage avec des achats d'animaux qui viennent impacter les revenus, mais aussi avec des pertes liées à de mauvais rendements alors que les charges sont conséquentes. La détermination du revenu ne prend pas en considération les variations de stocks, qui peuvent « tamponner » les faibles revenus.

Figure 4 : Histogramme des ménages selon le revenu par personne



Globalement on constate une concentration des ménages avec des revenus compris entre 0 et 500 000 Ar par personne. (65% des ménages de notre échantillon) soit environ le seuil de pauvreté qui pour 2010 était de 468 800 Ariary par personne (INSTAT, 2011).

Les ménages avec des revenus supérieurs compris entre 500 000 et 1 million Ariary par personne sont d'environ 16% ; et 12% des ménages ont des revenus supérieurs à 1 million Ar/per/an.

Il y a donc environ près de 30% des ménages qui génèrent des revenus supérieurs au seuil de pauvreté et qui devraient constituer la cible privilégiée pour le raccordement au réseau.

Le niveau de pauvreté est donné dans le tableau 17. Plusieurs indicateurs ont été calculés, ils devraient servir de bases pour les comparaisons futures.

Tableau 17 : Revenu moyen des ménages par commune et taux de pauvreté

	Revenu en 1000 Ar		Taux de pauvreté			EPM 2010 (niveau régional)
	Moyenne	Médiane	EPM 2010	1,25 USD PPP	2 USD PPP	
Didy	1 935	1 435	75,9%	72,2%	86,1%	72,2%
Manerinerina	1 490	818	74,3%	68,6%	81,4%	70,0%
Ifarantsa	2 108	1 640	62,9%	60,0%	71,4%	88,0%
Befeta	2 948	1 160	66,7%	63,3%	76,7%	91,0%
Mahaditra	2 313	1 968	56,7%	50,0%	66,7%	91,0%
Ensemble	2 003	1 248	70,1%	65,6%	79,1%	

Mode de calcul : utilisation des seuils de pauvreté définis par INSTAT pour EPM 2010 (INSTAT, Enquête Périodique auprès des Ménages 2010 : Rapport principal, http://www.instat.mg/pdf/epm_10.pdf) et des US dollars à Parité de Pouvoir d'Achat (PPP= Purchasing Power Parities) appliqués aux revenus par personne.

Les revenus moyens entre localités sont sensiblement différents et s'échelonnent entre un peu moins de 1,5 millions d'Ar à Manerinerina et jusqu'à près du double à Befeta. On note que Ifarantsa, Befeta et Mahaditra ont un niveau de pauvreté nettement moins important que la moyenne régionale d'EPM 2010, alors que les communes de Didy et Manerinerina, ont au contraire un taux de pauvreté supérieur à la moyenne régionale.

Les niveaux de pauvreté sont donc relativement différents selon les localités, en rapport avec les activités principales de l'économie locale. Les enquêtes d'évaluation après plusieurs années de fonctionnement devraient permettre de connaître l'évolution des revenus par rapport aux moyennes issues d'enquêtes sur grands échantillons de type EPM, représentatives le plus souvent au niveau régional.

LES ATTENTES EXPRIMÉES VIS-À-VIS DE L'ÉLECTRIFICATION

Les chefs de ménage ont été interrogés pour connaître leur opinion vis-à-vis de l'électrification et les attentes qu'elle suscite chez eux. Il est certain que les réponses formulées sont influencées par une volonté générale de ne pas afficher d'opposition à un projet en cours de montage. Cependant ces réponses permettent de capter le sentiment général de la population vis-à-vis du projet et surtout, pour les questions plus précises, la position individuelle des chefs de ménage.

Electrification et priorité de développement local

À la question « pensez-vous que l'électrification d'une partie de la commune fait partie des priorités de développement ? », 95 % des chefs de ménage ont répondu oui. Les oppositions sont très rares, à peine 1 % à 4 % des chefs de ménage n'ont pas répondu ou ont déclaré ne pas savoir. Les rares oppositions sont motivées soit par le coût et les dépenses liés à l'électrification, soit par l'existence d'autres priorités et notamment de développement agricole.

L'électrification bénéficie donc d'un avis très favorable. Les raisons évoquées sont nombreuses et très diverses⁹. Parmi celles-ci (tableau 18), il faut mentionner les fortes attentes vis-à-vis de l'éclairage public et le sentiment de sécurité que celui-ci va apporter, ou même de la réduction de l'insécurité qu'il va entraîner.

Globalement 45 % des ménages citent cet aspect d'éclairage, (sans toujours préciser public ou du village), pour justifier le caractère prioritaire de l'électrification et 15 % précisent des attentes en termes de sécurité. Les taux les plus importants concernent les communes d'Ifarantsa et Manerinerina (avec respectivement 88 % et 65 % des ménages). Mais c'est à Befeta que les attentes en terme de sécurité sont les plus fortes (32 % des ménages).

Tableau 18 : Justification du caractère prioritaire de l'électrification

Raisons	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Eclairage du village	22%	15%	58%	75%	16%	16%	30%
Eclairage et amélioration de la sécurité	13%	19%	7%	13%	32%	13%	15%
Développement en général	8%	15%	11%	2%	21%	26%	13%
Génération de revenus et emplois	19%	18%	0%	0%	1%	1%	10%
Amélioration des activités ou génération de nouvelles activités	15%	15%	3%	2%	2%	3%	10%
Modernisation	8%	6%	7%	3%	15%	18%	8%
Amélioration des conditions de vie et confort	11%	8%	4%	2%	4%	4%	7%
Réduction des dépenses énergétiques	1%	2%	0%	1%	1%	2%	1%
Amélioration des services	1%	1%	0%	0%	2%	5%	1%
Augmentation de la population	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Augmentation du temps de travail	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Réduction pauvreté	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Non interprétable	1%	0%	8%	2%	5%	11%	4%
Total général	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Les autres raisons citées par les chefs de ménage pour justifier le caractère prioritaire de l'électrification font référence au développement économique et social (48 %) :

- 13 % citent le développement en général sans autre précision, pour eux l'électricité va entraîner, apporter, générer le développement du village, de la commune, certains formulent cela différemment en avançant qu'il n'y a pas de développement sans électricité ;
- 10 % des chefs de ménage précisent l'idée de développement en faisant une référence explicite à la création de revenus et/ou d'emplois ;
- 10 % font référence à l'amélioration des activités existantes ou au développement de nouvelles activités (le commerce est le plus souvent cité) ;
- 8 % des ménages font référence à une modernisation, celle-ci concerne les aspects « matériels et équipements » avec l'utilisation de nouveaux appareils, de nouvelles technologies ; mais certains chefs de ménage évoquent aussi un changement des mentalités, une modernisation de la vie au village avec le développement d'animations, notamment pour les jeunes, la transformation en « ville » ;
- 7 % des ménages font référence à une amélioration des conditions de vie et/ou du confort qui passe souvent, comme la modernisation, par l'utilisation de nouveaux appareils.

9 Avec cependant des risques d'effets de localité liés aux enquêteurs qui ont pu involontairement influencer les réponses à cette question ouverte.

Enfin, on note quelques réponses spécifiques :

- 1 % des ménages citent les possibilités d'économie d'énergie conventionnelle (gas-oil) ;
- 1 % des ménages citent une amélioration des services et en particulier de l'éducation ;
- quelques ménages pensent que l'électrification va attirer des gens et faire croître la population ;
- d'autres que cela va leur permettre d'augmenter le temps de travail quotidien ;
- seulement 2 ménages font une référence directe à la réduction de la pauvreté.

La très grande majorité des ménages (95 %) est favorable à l'électrification et la considère comme prioritaire pour le développement local avec deux types d'attentes : pour près de la moitié des ménages (45 %) la priorité est l'éclairage public et l'amélioration de la sécurité qu'il va entraîner ; pour l'autre moitié (48 %) c'est le développement économique et social qui est prioritaire avec pour 20 % des ménages des attentes en termes d'amélioration ou de génération d'activités avec création de revenus et d'emplois. Les options prises avec la création de filières d'approvisionnement de la centrale avec des sous-produits agricoles ou du bois vont dans le sens de la demande d'une partie importante de la population avec la création d'emplois.

Opinion des chefs de ménage sur leur possible raccordement

Les chefs de ménage ont été interrogés sur leur possible raccordement au nouveau réseau électrique qui sera installé dans le cadre du projet BIOENERGELEC. La question comprenait un rappel sur le fait qu'il faudrait payer pour être raccordé.

La grande majorité des ménages (67 %) manifestent la volonté de demander le raccordement au réseau électrique, avec pour les communes de Ifarantsa, Befeta et Mahaditra des taux très élevés de 79 %, 84 % et 87 %. On note que plus la localité est petite, plus le taux de ceux qui souhaitent le raccordement au réseau est élevé.

Parmi ceux qui ne souhaitent pas être raccordés, près de 50 % des ménages évoquent le coût trop élevé que cela représente, 33 % ne donnent pas de raison, 8 % précisent qu'ils sont locataires et 5 % qu'ils n'en ont pas besoin car ils ne disposent pas de matériel électrique. Très peu de ménages (2 %) évoquent leur éloignement du réseau.

Tableau 19 : Position des chefs de ménage vis-à-vis d'un raccordement au réseau

Raccordement au réseau	Didy	Ambohijanahary	Manerinerina	Ifarantsa	Befeta	Mahaditra	Ensemble
Ne souhaitent pas	49 %	31 %	40 %	21 %	16 %	13 %	33 %
Souhaitent être raccordés	51 %	69 %	60 %	79 %	84 %	87 %	67 %

Parmi les ménages qui souhaitent être raccordés au réseau (67 %), 10 % ne veulent pas payer les 80 000 Ar prévus pour le branchement, 38 % se déclarent prêts à payer mais uniquement s'ils peuvent avoir des facilités de paiement, enfin 53 % se déclarent prêts à payer cette somme pour le raccordement.

Les chefs de ménage qui ont déclaré vouloir être raccordés au réseau ont également été interrogés sur le montant d'abonnement mensuel qu'ils seraient prêts à payer : 67 % d'entre eux se sont déclarés prêts à payer mais pour moins de 5 000 Ar par mois ; 25 % entre 5 000 et 10 000 Ar ; 6 % entre 10 000 et 20 000 Ar et seulement 3 % accepteraient de dépasser 20 000 Ar par mois.

Enfin parmi les ménages qui déclarent souhaiter le raccordement, 27 % n'envisagent pas d'acheter de nouveaux équipements ou matériels électriques après le raccordement alors que 73 % envisagent l'acquisition de nouveaux appareils. Les ménages envisagent d'acquérir en moyenne 1,7 nouvel appareil. Et parmi les appareils électriques cités, les appareils ménagers et de confort dominent très largement (93 % du total des nouveaux équipements cités) : 1168 ménages citent la télévision (soit 66 % des ménages

qui envisagent d'acquérir de nouveaux appareils), 630 le lecteur DVD (soit 36 % des ménages), 286 un réfrigérateur ou congélateur (soit 16 % des ménages) et 261 un radiocassette (soit 15 % des ménages). Les matériels et équipements pour des activités artisanales ou de transformation sont très peu cités et ne représentent que 6 % de l'ensemble des appareils. On notera que 20 ménages déclarent vouloir acquérir des décortiqueuses (« dépaillleurs »).

Sur la base des intentions manifestées par les chefs de ménage, l'installation de l'électricité devrait se traduire par une forte augmentation de l'équipement des ménages. Alors qu'aujourd'hui on a pour l'ensemble des 6 communes (tableau 14) une télévision pour 30 habitants et un réfrigérateur/congélateur pour 571 habitants, en prenant les intentions d'acquisition, on passerait à une télévision pour 10 habitants et un réfrigérateur/congélateur pour 56 habitants. Il y a donc une aspiration réelle pour une amélioration du confort de la part des chefs de ménage de toutes les communes.

Ainsi, les ménages qui souhaitent être raccordés au réseau perçoivent ce raccordement d'abord comme une amélioration du confort avec l'acquisition d'une télévision et d'autres appareils ménagers. Dans leur grande majorité, ils souhaitent que les dépenses d'abonnement restent limitées (moins de 5000 Ar par mois) et qu'ils aient des facilités pour payer le raccordement.

Les effets sur les ménages dans la commune d'Andaingo

Avec la mise en place tardive des centrales, il n'y a pas d'éléments d'évaluation des effets de l'ERD sur les ménages et sur les économies locales. Cependant, nous disposons de quelques résultats collectés dans une autre commune rurale où a été installée une centrale électrique à biomasse.

Le projet GESFORCOM (Montagne et Bertrand, 2012) est un projet pilote qui a, parmi ses activités, installé une centrale thermoélectrique à biomasse dans la commune rurale d'Andaingo située dans la région Alaotra-Mangoro (non loin de la commune de Didy). Comme BIOENERGELEC, ce projet a pour objectif de réduire la pauvreté rurale en fournissant de l'électricité à travers la valorisation durable de la biomasse bois-énergie. La centrale a été installée en 2012 avec un prototype de moteur à vapeur. Sa mise en service a donné lieu à de nombreux problèmes techniques et le moteur et, dans une moindre mesure, l'installation ont dû subir de nombreuses adaptations. Cependant, depuis décembre 2012, une partie d'Andaingo est électrifiée et les ménages raccordés ont pu s'approvisionner assez régulièrement à partir du réseau, même si la centrale a souvent fonctionné, jusqu'en 2014, avec un groupe électrogène diesel pour suppléer la centrale à vapeur. Et nous disposons de résultats d'enquêtes sur le comportement et le niveau de satisfaction des ménages par rapport à leurs attentes, après environ un an de raccordement (Andriamialiranto L. H. H., 2015). Cette étude a également permis de comparer le prix d'achat du bois par la centrale aux prix dans les autres filières de valorisation du bois pour apprécier le niveau de rentabilité de cette nouvelle filière qui doit générer de nouveaux emplois et une meilleure valorisation locale des ressources ligneuses.

La méthodologie repose sur la comparaison de deux groupes de ménages : l'un constitué d'un échantillon de ménages abonnés et l'autre d'un échantillon de ménages qui ne sont pas abonnés. Les échantillons ont été tirés au hasard dans la liste des ménages divisés en deux groupes.

Le premier groupe est constitué par tous les abonnés avec compteur, identifiés à partir du registre de l'opérateur économique (82 ménages). Cependant, il est apparu que quelques ménages étaient raccordés au réseau par l'intermédiaire d'un autre ménage et donc sans avoir de compteur et sans figurer dans le registre de l'opérateur. Ces ménages (au nombre de 10) qui payent au ménage abonné de manière forfaitaire ont été versés dans le groupe des abonnés qui au final totalise 92 ménages.

Le deuxième est constitué de tous les ménages non abonnés. Dans la liste exhaustive des ménages du village, obtenue auprès des chefs de fokontany, les ménages abonnés ont été éliminés et il est resté au total 668 ménages parmi lesquels l'échantillon a été tiré au hasard.

Tableau 20 : Echantillons des deux groupes de ménages enquêtés

	Nombre de ménages	Nombre de ménages de l'échantillon	Taux de sondage
Abonnés avec compteur (82) et raccordés au réseau sans compteur (10)	92	44 (dont 40 avec compteur et 4 sans compteur)	48%
Non abonnés / non raccordés	668	44	7%

En raison des faibles moyens et du temps limité pour réaliser le travail, il a été décidé de travailler sur un petit échantillon et pour simplifier les traitements la taille des échantillons est la même (44), ce qui permet une très bonne représentation des ménages abonnés (presque 1 sur 2), mais un faible taux pour les ménages non abonnés (seulement 7%).

LES DÉTERMINANTS DE L'ADHÉSION OU NON ADHÉSION AU RÉSEAU

Un an après le démarrage de la centrale, le taux d'accès effectif des ménages à l'électricité était de 12%. Durant cette première année, les problèmes ont été nombreux et l'alimentation du réseau en électricité a été chaotique, ce qui n'a pas « motivé » les demandes d'abonnement. Par ailleurs, l'opérateur ne disposait pas de nouveaux compteurs (qui doivent être fournis par l'ADER) et était dans l'incapacité de répondre aux demandes de nouveaux adhérents.

Les raisons données par les chefs de ménages

La raison principale qui motive les ménages pour demander leur raccordement au réseau électrique est avant tout économique car ils pensent que le réseau électrique est soit plus économique et plus efficace que les autres modes de production d'électricité (essentiellement groupe électrogène diesel ou essence), soit leur permettra de développer leurs activités. Les autres raisons liées au confort (loisir et informations) ou à la sécurité apparaissent minoritaires. Ce sont donc d'abord des raisons de développement économique de leur propre ménage qui ont motivé les personnes à adhérer à un réseau électrique dans cette zone rurale. Dans ce sens l'électrification apparaît donc bien comme un élément qui peut stimuler le développement de l'économie locale via le développement d'activités pour une partie des ménages de la localité concernée.

Plus de la moitié (57%) des ménages non abonnés évoquent une insuffisance de moyens financiers pour expliquer pourquoi ils ne se sont pas raccordés à l'ERD. Pour eux, l'installation de l'électricité dans les habitations demande un investissement important en raison des frais à payer pour l'achat du compteur, des câbles électriques mais aussi en raison des dépenses que génère l'électricité avec le paiement mensuel des consommations en KWh en plus de l'abonnement. La hausse du prix du KWh, enregistrée depuis le démarrage de la centrale les renforcent dans leur choix.

On note cependant que parmi les ménages non raccordés au réseau, 20% évoquent le fait que la demande en compteur est supérieure à la capacité de l'opérateur. Selon ces ménages, ils souhaiteraient bénéficier des services fournis par l'électricité mais faute de matériels nécessaires pour l'installation électrique, ils ne peuvent pas être raccordés au réseau.

Il y a également 11% des ménages qui n'ont pas adhéré parce que leurs logements sont localisés dans des quartiers/hameaux qui ne sont pas encore atteints par le réseau malgré l'achat des poteaux électriques. Le réseau ERD est moins étendu que prévu initialement et ne dessert que les habitations le long de la RN 44, de la centrale au centre-ville d'Andaingo.

Certains ménages (7%), ne se sont pas branchés au réseau car ils sont locataires et ne veulent pas dépenser de l'argent pour installer l'électricité dans un logement qui ne leur appartient pas. Selon eux, ce sont les propriétaires qui doivent faire ces installations.

Enfin, seulement 5% des ménages déclarent ne pas être intéressés par l'électricité. Ils pensent qu'elle est surtout utile aux activités des commerçants du village et qu'elle ne convient pas à leurs activités essentiellement agricoles.

Ainsi, la principale raison de non raccordement au réseau électrique ERD est économique (57% des enquêtés) en relation avec le coût d'installation dans les habitations et le règlement des factures mensuelles qui serait au-dessus des capacités financières. On note que la demande de raccordement existe puisque 20% des ménages ne peuvent se raccorder car l'opérateur ne dispose pas de compteur et 9% parce que leur habitation est trop éloignée du réseau. Enfin seulement 5% des ménages ne sont tout simplement pas intéressés par cette nouvelle technologie.

La profession principale du chef de ménage

La comparaison de la composition des deux groupes de ménages est très significative (tableau 21) avec parmi les ménages qui ont adhéré une majorité de ménages dont le chef est fonctionnaire (34%) ou commerçant (39%) alors que la profession principale des chefs de ménage qui n'ont pas adhéré est liée à l'agriculture (64%).

Ainsi, les ménages qui adhèrent les premiers au réseau électrique ont, plus que les autres, des activités économiques dans le secteur tertiaire (restauration, commerce, multiservice) ou sont fonctionnaires.

Tableau 21 : Composition (%) des deux échantillons selon l'occupation principale du chef de ménage

Activité principale du CM	Adhésion	Non adhésion
Effectif (N)	44	44
Inactif	0%	2%
Agriculteur-éleveur	14%	64%
Fonctionnaire	34%	0%
Travailleur indépendant commerce	39%	14%
Travailleur indépendant service	11%	5%
Travailleur indépendant secteur artisanal	0%	2%
Ouvrier agricole	0%	7%
Ouvrier non agricole	2%	7%

Le revenu annuel moyen par personne

Le revenu annuel moyen des ménages (calculé pour 2013) selon le groupe est un déterminant du choix des ménages à adhérer.

Tableau 22 : Comparaison des revenus moyens des deux groupes de ménages

	Non abonné		Abonné	
	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation
Revenu par personne et par an en 1 000 Ar	761	105%	1 687	60%

L'écart entre les revenus moyens¹⁰ est important puisque les ménages abonnés ont un revenu moyen par personne égal au double de celui du groupe des non abonnés. On notera que la dispersion est plus importante dans le groupe des non abonnés que dans celui des abonnés. Parmi les non abonnés, il y a un petit groupe de ménages (11%) avec des revenus élevés (supérieurs à 1,8 million Ar/pers/an), ces ménages souhaitent être raccordés au réseau mais ne le sont pas car trop éloignés ou en raison de l'insuffisance de compteurs.

Ainsi, le choix de se raccorder ou non au réseau ERD est lié positivement aux revenus des ménages. Le taux d'adoption augmente avec les revenus ; ce sont les ménages les plus aisés qui ont la capacité de payer les coûts de raccordement et de régler les factures mensuelles et ce sont peut-être aussi eux qui ont le plus «soif de modernité» aussi bien pour développer les activités productives que pour les loisirs.

Niveau d'étude des chefs de ménages et adhésion ou non au réseau

Le niveau d'étude des chefs de ménage est également un déterminant dans l'adhésion au réseau.

¹⁰ On notera que ces revenus moyens sont nettement supérieurs au seuil de pauvreté de 2010 utilisé précédemment (voir point 2.3)

Tableau 23 : Niveau scolaire des chefs de ménages abonnés et non abonnés

	Abonnés	Non Abonnés
Non scolarisé	2%	14%
Primaire	7%	32%
Secondaire 1 ^{er} cycle	32%	30%
Secondaire 2 ^{ème} cycle	45%	18%
Études supérieures	14%	7%

Dans le groupe des ménages électrifiés, les chefs de ménage ont un niveau d'éducation très nettement supérieur avec 59% d'entre-deux qui ont atteint ou dépassé le 2^{ème} cycle secondaire, alors que seulement 25% des ménages du groupe des non électrifiés ont atteint ou dépassé ce niveau. Ainsi, ce sont les ménages avec le meilleur niveau de formation académique qui adhèrent les premiers au réseau.

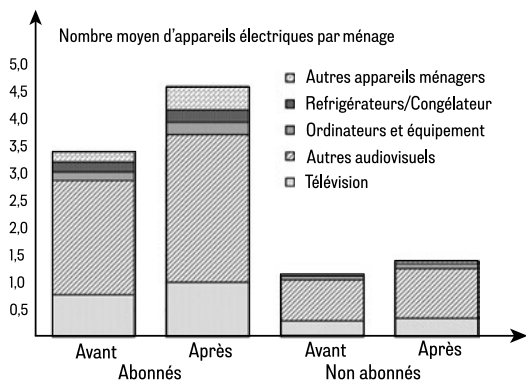
LES CHANGEMENTS DANS LES MÉNAGES ÉLECTRIFIÉS

Pour la majorité des ménages et selon leur propre perception, le plus grand changement apporté par le raccordement au réseau est une amélioration du confort et des loisirs qui s'est traduit par l'acquisition de nouveaux équipements et la possibilité d'utiliser ces appareils plus fréquemment. Pour 19% des ménages, le changement le plus perceptible est que l'électrification leur a permis d'économiser sur les dépenses d'énergie. Pour 16% des ménages, l'électricité a amélioré leurs activités génératrices de revenu en permettant des économies sur les dépenses énergétiques mais surtout à travers la qualité de l'éclairage qui permet d'attirer de la clientèle pour les restaurateurs et épiciers. Une faible proportion (seulement 5%) déclare que l'électrification leur a permis de développer de nouvelles activités comme la coiffure, la vente de glace, la vente de jus de fruits frais. Enfin, 8% considèrent que l'électricité a favorisé les travaux scolaires des enfants pendant la soirée.

Achat d'équipements

Suite à l'installation du réseau, les ménages électrifiés, qui étaient déjà les mieux équipés, ont acquis en moyenne plus d'un nouvel appareil électrique (figure 5), alors que sur la même période, les ménages non abonnés (très peu équipés) n'ont presque rien acquis.

Figure 5 : Nombre moyen d'appareils électriques par ménage avant et après l'électrification



Les ménages qui ont adhéré au réseau possédaient en moyenne presque 3 appareils électriques audiovisuels (télévision, antenne parabolique, lecteur DVD, appareil photo) contre seulement 1 pour les autres. Ils ont acquis des équipements supplémentaires suite à leur raccordement, puisqu'au moment des enquêtes, un ménage adhéré au réseau disposait en moyenne de 4,5 appareils électriques : tous les ménages disposaient d'une télévision, environ un ménage sur quatre avait un réfrigérateur ou congélateur et un ménage sur 7 un ordinateur (avec 0,23 équipements informatique par ménage si on prend en compte les imprimantes et autres appareils). Pour les ménages non raccordés, la situation n'a pratiquement pas évolué.

Changement de comportement

L'électrification a un impact sur les habitudes et les comportements des ménages notamment vis-à-vis de l'utilisation des appareils audiovisuels, et tout particulièrement la télévision.

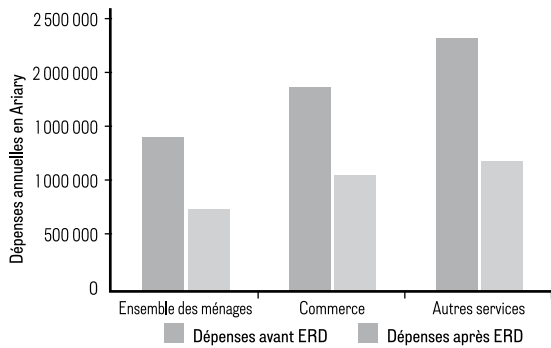
Avant la mise en service de la centrale, 38% des ménages équipés regardaient la télévision tous les jours pour une utilisation domestique ou une utilisation marchande avec des projections de vidéos (regarder des CD). Un grand nombre de ménages visionnaient cet appareil audio-visuel deux fois par semaine ou une fois par semaine généralement pendant la fin de semaine (pour le divertissement). Aujourd'hui, 80% des ménages abonnés pourvus d'un poste téléviseur déclarent l'utiliser tous les jours.

IMPACT SUR LES DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES

Les chefs de ménages ont été interrogés sur leurs dépenses¹¹ en énergie avant et après la mise en service de la centrale. Il faut rappeler que pendant une grande partie de l'année étudiée, le kilowatt heure a été facturé à 700 Ar sur la base de tarifs calculés au moment de la faisabilité du projet. Puis, comme l'électricité était produite essentiellement avec un groupe diesel le temps de la mise au point du prototype biomasse, l'opérateur a porté le kilowattheure à 1500 Ar, tarif le plus souvent appliqué, à cette période, pour ce type de génération électrique à Madagascar.

Les économies sur les dépenses énergétiques ont déjà été citées par une partie des ménages, comme l'un des effets de l'ERB. L'analyse comparative des dépenses énergétiques de l'année avant l'électrification et des dépenses de la première année d'électrification, confirment une réduction conséquente des dépenses des ménages dans ce secteur (figure 6), avec des effets positifs sur le revenu des ménages électrifiés.

Figure 6 : Evolution des dépenses énergétiques des ménages électrifiés selon l'activité principale du chef de ménage



Pour les ménages qui se sont abonnés au réseau, les dépenses moyennes en énergie avant l'ERD ont été estimées à 1 366 000 Ar (coefficient de variation de 70%). Après ERD, pour l'année de fonctionnement prise en compte, les dépenses moyennes sont passées à 720 000 Ar (coefficient de variation de 79%), soit une baisse globale de 47%.

Cette réduction des dépenses, rejoint d'autres observations qui ont montré que l'accès à l'électricité contribue à la diminution du coût du service énergétique pour les ménages, ce gain étant lié au changement des sources d'énergies beaucoup moins coûteuses par rapport aux sources utilisées auparavant (Massé, 2004 ; ONE, 2008 ; Dakpui, 2009)¹².

L'importance des économies sur les dépenses énergétiques est en lien avec les activités principales des chefs de ménage. Les ménages avec des activités de multiservices (photocopie, impression, projection de vidéo) et de commerce (restauration, épicerie, gargote) sont les plus gros consommateurs d'énergie avec des dépenses pour l'achat de carburants (utilisation de groupe électrogène diesel ou essence) avant l'électrification. Pour les deux groupes, les dépenses moyennes annuelles avant ERD nettement au-dessus de la moyenne générale du groupe des abonnés, étaient respectivement de plus de 2,2 millions et 1,8 millions. Après ERD, elles tombent à un peu plus de 1 million Ar soit des économies de 49% à 43%.

COMPARAISON DES PRIX DE VALORISATION DU BOIS SELON DIFFÉRENTES FILIÈRES À ANDAINGO

Lorsque les problèmes techniques auront été solutionnés, la centrale fonctionnera essentiellement avec du bois comme combustible, générant de nouveaux et importants débouchés pour la valorisation de la biomasse dans la commune d'Andaingo. Les études ont été menées pour mettre en place une gestion sur le long terme des ressources forestières, tout en répondant aux besoins de la production électrique de la centrale, assurant ainsi la durabilité de cette opération de développement. Dans l'étude de faisabilité, il a été déterminé un prix d'achat du bois par la centrale (10 000 Ar/stère de 1 m³) qui devait à la fois assurer une rémunération suffisante des différents opérateurs de la filière d'approvisionnement pour couvrir les coûts (y compris pour le renouvellement de la ressource) et dégager une marge pour assurer des revenus à ces différents opérateurs (exploitants, bucherons, transporteurs, etc.

¹¹ Il faut ici rappeler une des limites de l'étude avec des enquêtes en un passage basées sur les déclarations des personnes interrogées faisant appel à leur mémoire, avec dans ce cas précis, des données de deux années auparavant. Ces informations ne peuvent pas être considérées comme précises, mais donnent une indication sur les ordres de grandeurs et les évolutions.

¹² ONE, 2008 est une synthèse de l'étude des impacts socio-économiques de l'électrification rurale au Maroc qui mentionne que « l'autre aspect économique est relatif aux dépenses énergétiques des ménages. La baisse de ces dépenses concerne notamment les classes extrêmes (les plus riches et les plus pauvres). Les classes moyennes voient en revanche leurs dépenses augmenter en raison de l'élévation du niveau de confort apporté par l'électricité ». On notera qu'ici, l'évaluation n'est faite qu'après une année de fonctionnement.

Cependant, pour que la filière d'approvisionnement soit durable et permette de dégager des revenus supplémentaires pour les acteurs, il faut que l'achat du stère de bois par la centrale soit effectué à un prix qui est rémunérateur pour les exploitants forestiers en comparaison avec les autres opportunités qu'ils ont, c'est-à-dire avec les autres filières de valorisation des produits forestiers ligneux (essentiellement de *Eucalyptus robusta*), qui sont : la production de charbon de bois ou de bois de feu pour les consommateurs domestiques, la production et la vente de bois d'œuvre et de service. On peut considérer qu'un exploitant forestier analyse les différentes opportunités de marché qui s'offrent à lui et qu'il décide de produire et commercialiser selon la filière la plus rentable pour lui. La question peut être ainsi posée : obtenir de meilleurs résultats avec une dépense donnée, ou un aussi bon résultat avec une dépense moindre. Même si dans la réalité de nombreuses autres considérations entrent en ligne de compte, l'exploitant forestier, comme toute entreprise, « obéit à une certaine rationalité » et vise à maximiser son profit dans le cadre des contraintes qui sont les siennes. On peut ainsi considérer que pour que la filière d'approvisionnement de la centrale soit choisie par les opérateurs, il faut que le prix d'achat du bois de la centrale permette à l'exploitant forestier de dégager un meilleur profit que les autres filières.

Des enquêtes ont été menées auprès de quelques opérateurs dans les différentes filières pour déterminer les marges nettes dégagées (le profit). En raison du faible nombre d'exploitants forestiers enquêtés, les résultats ne sont pas représentatifs et ne permettent pas de généraliser. Toutefois, on a pu étudier, cas par cas, les différents modes de valorisation de la production forestière et apprécier quelle valorisation est la plus profitable pour l'exploitant forestier.

La production de charbon de bois est importante dans la zone d'Andaingo. Elle est surtout destinée à l'approvisionnement de la capitale car le bassin d'approvisionnement en bois-énergie (charbon de bois et bois de chauffe) d'Antananarivo s'étend vers l'Est au-delà de Moramanga jusqu'à Andasibe, presque jusqu'au lac Alaotra (Bertrand, 1999 ; Andriamifidy *et al.*, 2014).

Seulement 5 exploitants forestiers ont été enquêtés. La marge nette de leur activité est présentée dans le tableau 24. Les opérateurs sont très différents avec des quantités produites qui vont de 5 m³ à plus de 400 m³ et des taux de marge très différents. L'exploitant n° 6 a livré la centrale avec un prix de 10 000 Ar/stère.

Tableau 24 : Compte d'exploitation de cinq opérateurs sur la filière d'approvisionnement en biomasse

	Exploitant 2	Exploitant 3	Exploitant 4	Collecteur	Exploitant 6
Produit	CdB	CdB	CdB	CdB	Bois de feu
Production (en m ³)	405,00	5,06	33,75	37,13	12,83
Charge (Ar)	2 544 300	70 000	323 000	335 500	88 000
Produit (Ar)	3 600 000	75 000	600 000	577 500	190 000
Marge nette (Ar)	1 055 700	5 000	277 000	242 000	102 000
Marge nette (%)	29%	7%	46%	42%	54%
Prix de revient (charge Ar/m ³ de bois)	6 282	13 827	9 570	9 037	6 862
Marge nette (Ar) par m ³ de bois	2 607	988	8 207	6 519	7 953

Pour l'ensemble des opérateurs enquêtés, la filière d'approvisionnement en biomasse pour la centrale (exploitant 6) a le plus fort taux de marge nette avec 54 % par rapport aux produits, même si la plus forte marge est réalisée par l'exploitant n° 4 qui a une meilleure valorisation du charbon de bois (vente pendant la saison des pluies).

Nous avons également enquêtés un exploitant qui a valorisé une plantation avec du bois de service et du charbon. À partir des résultats de ces enquêtes, trop peu nombreuses rappelons le, la meilleure valorisation du bois est : (i) la production de poteaux pour la JIRAMA¹³ (marge nette pour l'exploitant de 114 000 Ar par m³ de bois) car dans cette filière, les charges sont très faibles avec tous les travaux de bûcheronnage et de transport qui sont pris en charge par la JIRAMA ; (ii) la production de madriers, bois ronds ou carrés, (marge nette pour l'exploitant de 61 000 Ar par m³ de bois). La valorisation en charbon

13 Société publique d'exploitation et de distribution de l'électricité à Madagascar

de bois dégage des marges nettes par m³ nettement plus faibles, puisque selon notre échantillon, elles varient de 1000 Ar par m³ à 8 200 Ar/m³. Enfin, pour le seul exemple de valorisation du bois en bois de feu pour la centrale, la marge nette déagée est de 8 000 Ar/m³ de bois.

Ainsi, les comparaisons effectuées indiquent que la nouvelle filière créée par la centrale est concurrentielle avec la production de charbon de bois à partir des taillis, puisque l'exploitant qui livre la centrale dégage une marge nette équivalente (8 000 Ar) à la meilleure marge déagée par la production de charbon de bois avec cependant des charges moins élevées et donc des risques moins importants. L'approvisionnement en biomasse-bois de la centrale constitue un mode de valorisation des taillis d'Eucalyptus qui apparaît plus rentable que la valorisation moyenne en charbon de bois pour les quelques cas étudiés. Cependant, le prix du stère proposé par la centrale n'apparaît pas comme très incitatif, simplement concurrentiel avec les autres filières et moins risqué.

Conclusion

L'évaluation d'un projet de développement rural reste toujours une question difficile à traiter, notamment vis-à-vis des impacts sur la réduction de la pauvreté et le développement économique et social. Le projet BIOENERGELEC n'échappe pas à la règle, puisqu'il assure l'électrification de communes rurales avec l'installation d'une centrale vapeur valorisant la biomasse locale. Les impacts attendus sont ceux liés à l'électrification avec un coût de production du Kwh plus économique qu'avec des combustibles fossiles, mais aussi ceux liés au développement durable de filières locales d'approvisionnement. Une méthodologie spécifique a été élaborée pour répondre aux besoins du projet. Elle s'inspire des méthodes d'évaluations aléatoires. Elle a été mise en œuvre seulement dans sa partie d'élaboration de la situation de référence. Il n'est donc pas possible d'apprécier sa pertinence globale, mais les bases de données et le diagnostic réalisés sont disponibles et devraient permettre une évaluation finale complète.

L'élaboration de la situation de référence a été l'occasion de dresser un diagnostic précis de la situation socio-économique des quartiers et hameaux des communes retenues. Le recensement de tous les ménages dans les zones prévues pour être reliées au réseau et dans des hameaux voisins prévus pour servir de témoins, a permis de compléter le diagnostic initial et de disposer d'une connaissance plus fine du nombre de ménages, mais aussi du niveau actuel des équipements, des niveaux de pauvreté et des attentes vis-à-vis de l'électrification et donc a contribué à une meilleure connaissance de la demande potentielle, des moyens d'existence des ménages et des dynamiques démographiques en cours, tout en fournissant les indicateurs pour l'évaluation finale. La méthodologie a permis de faire des comparaisons avec les résultats de l'étude Enquête Périodique auprès des Ménages (EPM) de 2010, réalisée par l'INSTAT (2011) qui sont représentatifs au niveau régional, et donc de positionner chacune des localités par rapport à la situation moyenne régionale. Ces comparaisons seront à renouveler dans l'évaluation finale.

Le projet n'a pas encore suffisamment de résultats pour apprécier son impact sur les ménages des localités concernées. Cependant, en utilisant les travaux menés dans le cadre d'un projet similaire (COGESFOR), quelques résultats ont été présentés.

L'électrification a des effets sur la vie quotidienne des ménages électrifiés et plus particulièrement sur le confort et les loisirs. Ainsi, alors que la raison principale donnée par les chefs de ménage pour expliquer la décision d'adoption de l'électricité est d'ordre économique, le premier effet concerne le confort avec des ménages qui acquièrent de nouveaux appareils électriques pour améliorer leur confort et pour se divertir puisque les équipements les plus acquis à la suite de l'électrification sont des appareils audiovisuels (antenne parabolique, poste téléviseur et lecteur CD).

Avec le raccordement au réseau, les ménages électrifiés ont nettement diminué leurs dépenses en énergie alors que les ménages non abonnés ont toujours le même niveau moyen de dépenses. Cette diminution s'explique par un coût de l'électricité plus bas que les autres sources d'énergie pour les ménages raccordés. Dans le cas d'une centrale à vapeur, alimentée par la biomasse locale, avec un prix de vente de l'électricité nettement meilleur marché que le prix de vente classique avec des générateurs à diesel, l'électrification

devrait entraîner une nette amélioration des conditions de vie des ménages électrifiés dont la part dans la population devrait également augmenter rapidement une fois atteint un fonctionnement au rythme de croisière tel que prévu initialement.

Enfin, les informations collectées à Andaingo où intervient le projet COGESFOR permettent de conclure que la filière bois pour alimenter la centrale vapeur est concurrentielle par rapport à la filière de valorisation par charbon de bois. Mais les écarts sont faibles, ainsi la filière ne générerait qu'une faible augmentation des revenus des exploitants forestiers à quantité exploitée égale, et aurait peu d'impacts sur les revenus des charbonniers et bucherons payés à la tâche, à quantité exploitée égale. Mais la centrale devrait augmenter la demande en bois et donc favoriser une augmentation de l'offre avec des effets sur les quantités exploitées, mais aussi certainement sur les prix et les coûts.

La méthodologie définie et les travaux menés ont donc permis d'établir une situation de référence détaillée qui devrait permettre une évaluation fine des impacts, pourvu que soient mobilisés quelques moyens pour assurer un dispositif d'enquête et d'analyse suffisant.

Bibliographie

ANDRIAMIARANTO Landy H. H., 2015. Etude sur le principal déterminant de l'adhésion à un réseau électrique et sur les effets socio-économiques de l'implantation de la centrale thermoélectrique à combustion de biomasse. Cas de la commune rurale d'Andaingo, région Alaotra Mangoro, Madagascar. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Département des Eaux et Forêts, Université d'Antananarivo, Antananarivo, 106 p.

ANDRIAMIFIDY A. V., Bélières J.-F., Gérard F. et Aubert S., 2014. Filières bois et charbon de bois dans la région Analamanga et approvisionnement de la ville d'Antananarivo. CIRAD. Mai 2014. 62 p.

Banque Mondiale, 2008. The Welfare Impact of Rural Electrification : A Reassessment of the Costs and Benefits. An IEG Impact Evaluation. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington 2008. 154 p.

BARRETT C. B., REARDON T. et WEBB P., 2001. Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa : concepts, dynamics, and policy implications. *Food Policy*, 26 (4) : 315-331. doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-9192\(01\)00014-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-9192(01)00014-8)

BELIERES J.-F., ANDRIAMBOLANORO D. et DARTIGUEPEYROU O., 2010. Elaboration de la situation de référence du projet BIOENERGELEC à Madagascar. Résultats phase 1 et outils phase 2. CIRAD/FOFIFA/PARTAGE. Montpellier Novembre 2010. 75 p.

BERTRAND A., 1999. La dynamique séculaire des plantations paysannes d'Eucalyptus sur les Hautes Terres Malgaches. *African Studies Quarterly*, 3 (2) pp : 61-68.

BOUQUET E. et RALISON E., 2012. Projet Bioenergelec : enquête pauvreté des ménages année 0. CIRAD/FOFIFA. Antananarivo Madagascar Mars 2012. 28 p.

DAKPUI K. K., 2009. Comment favoriser l'électrification du milieu rural en vue d'améliorer les conditions de vie des populations pauvres ? Le cas du Togo. Centre d'Etudes Financières Economiques et Bancaires, Université d'Auvergne, Marseille, 82 p.

DUFLO Esther, 2005. Évaluer l'impact des programmes d'aide au développement : le rôle des évaluations par assignation aléatoire. *Revue d'économie du développement*, 19 (2) : 185-226.

FOUGERE D., 2010. Les méthodes économétriques d'évaluation. *RFAS*, 1-2 2010 : 105-128.

LOSCH B., FRÉGUIN-GRESH S. et White E., 2013. Transformations rurales et développement : les défis du changement structurel dans un monde globalisé. Montreuil, Pearson France, L'Afrique en développement, 270 p.

MASSE R., Accès à l'électricité et lutte contre la pauvreté : une évidence difficile à quantifier. *Liaison Énergie-Francophonie*, n°63 (2^{ème} trimestre 2004) pp : 8-11.

MONTAGNE P, BERTRAND A. (eds.) 2012. Kajjala, Tattali, Djekabaara : valoriser les produits pour mieux conserver les forêts. Tome 1 : Les expériences nationales. Volume 1, Madagascar. Antananarivo : CITE, 186 p. ISBN 978-2-915064-42-1

INSTAT, 2011. Enquête Périodique auprès des Ménages 2010. EPM-2010 Rapport Principal. INSTAT. Antananarivo Août 2011. 374 p. http://www.instat.mg/pdf/epm_10.pdf

ONE, 2008. Le quotidien transformé. Synthèse de l'étude des impacts socio-économiques de l'électrification rurale au Maroc. Ministère de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement - Office National de l'Electricité du Maroc. Casablanca 77 p. <http://hdl.handle.net/123456789/31181>

PAMIES-SUMNER S., 2014. Les évaluations d'impact dans le domaine du développement. État des lieux et nouveaux enjeux. Paris, Editions AFD, A Savoir collection - No. 27. 106 p. <http://www.afd.fr/webdav/site/afd/shared/PUBLICATIONS/RECHERCHE/Scientifiques/A-savoir/27-A-Savoir.pdf>

PARIENTE W., 2008. Analyse d'impact : l'apport des évaluations aléatoires. *STATECO N°103*, 2008

PAUL J.-L., BORYA, BELLANDE A., GARGANTA E. et FABRIA, 1994. Quel système de référence pour la prise en compte de la rationalité de l'agriculteur : du système de production agricole au système d'activité. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 39 :

SOURISSEAU J.-M., BOSCH P. M., FREGUIN-GRESH S., BELIERES J.-F., BONNAL P., LE COQ J.-F., ANSEEUW W. et DURY S., 2012. Les modèles familiaux de production agricole en question. Comprendre leur diversité et leur fonctionnement. *Autrepart*, 62 : 160-181. doi : [10.3917/autr.062.0159](https://doi.org/10.3917/autr.062.0159)

Retour d'expérience sur le fonctionnement des centrales électriques à biomasse sur les sites d'Andaingo, de Didy (région Alaotra-Mangoro) et de Manerinerina (région Boeny)

François PINTA,
Daniel ANDRIAMBOLANORO,
Pierre MONTAGNE

Introduction

Les projets GESFORCOM et BIOENERGELEC ont permis l'installation et la mise en fonctionnement de trois centrales thermoélectriques pour la production d'électricité rurale décentralisée. Ces centrales ont été installées dans les communes rurales d'Andaingo et de Didy (région Alaotra-Mangoro) et de Manerinerina (région Boeny) respectivement en septembre 2012, décembre 2015 et mars 2014.

Nous rapporterons comment, après installations et mises en route, les installations d'Andaingo et de Manerinerina ont commencé à fournir de l'ERD aux habitants de ces deux communes¹. Nous expliciterons les éléments encourageants des périodes de suivi réalisées mais aussi tout ce qui nous a paru décevant.

Il a déjà été présenté à l'article d'introduction générale de l'ouvrage comment une équipe du CIRAD spécialisée dans la gestion des ressources naturelles et l'énergie proposa de mettre en place des installations d'ERD alimentées par de la biomasse à Madagascar, pour donner un accès à l'énergie électrique aux populations rurales de villages isolés. C'est ainsi que les projets GESFORCOM et BIOENERGELEC furent préparés en réponse aux appels à proposition « Ligne forêt tropicale » et « Facilité énergie 1 » de l'Union Européenne lancés respectivement en 2005 et 2006. Il s'agissait de développer une offre d'ERD alternative aux systèmes basés sur le soleil, le vent ou encore le gasoil. L'idée était qu'au même titre que les autres sources d'ENR, la biomasse a sa place dans les alternatives à considérer pour réaliser des centrales de production d'ERD tout en créant des activités économiques supplémentaires et des emplois rémunérés spécifiques pour l'approvisionnement en biomasses de ces centrales.

Avec ses partenaires du développement et de la recherche (ONG PARTAGE et ADER d'une part et FOFIFA d'autre part), le CIRAD a coordonné les propositions de projets : GESFORCOM dans un premier temps, pour l'équipement de la commune d'Andaingo (où fut associée une unité de sciage et de séchage du bois) et BIOENERGELEC dans un deuxième temps, pour les communes de Manerinerina, Didy, Ambohijanahary, Befeta, Mahaditra et Ifarantsa².

Les deux projets se sont déroulés parallèlement, de 2009 à 2012 pour la commune d'Andaingo et de 2009 à 2015 pour les communes de Manerinerina et Didy. L'article introductif a présenté dans le détail les procédures d'acquisition des matériels. L'ADER, partenaire technique a pu concevoir les réseaux ERD de chaque commune et engager la constitution, conformément à ses procédures, des dossiers d'appels d'offres pour le choix des gestionnaires ERD.

¹ Pour la commune de Didy, l'installation n'a été achevée et la mise en route réalisée mi-décembre 2015. Nous ne disposons pas, à la date de rédaction de cet article, d'éléments probants de suivi. L'article ne concerne donc que les sites des deux premières communes équipées.

² Nous avons déjà explicité les raisons pour lesquelles, à la fin 2015, seules les deux communes de Manerinerina et Didy sont effectivement équipées.

Les délais de réalisation des investissements furent beaucoup plus longs que prévu initialement, engendrant des retards importants à l'installation des matériels. Les raisons ont été d'une part la crise politique de janvier 2009 (achevée en 2014) qui a fortement retardé le processus de commande de l'installation ERD d'Andaingo, et d'autre part, l'obligation d'un appel d'offres international, non prévu par le groupement des partenaires dans l'offre technique de 2006 pour les six autres communes cibles. Le montant du marché des équipements ERD évalué à près d'un million six cent mille euros a rendu obligatoire cet appel d'offres international et a conduit à une longue négociation de 20 mois avant qu'un contrat puisse être signé entre l'ADER et le fournisseur retenu.

Néanmoins, l'installation d'Andaingo a été réceptionnée et était prête à fonctionner le 6 septembre 2012 et celle de Manerinerina le 24 mars 2014.

Cet article 7 se veut un retour d'expérience qui montre comment il a été possible, partant de rien si ce n'est de la connaissance de la disponibilité en biomasse dans ces communes et de l'existence d'une technologie adaptée pour la production d'électricité en ERD, de coordonner l'ensemble des paramètres humains, financiers, administratifs et techniques pour parvenir à installer et suivre la mise en œuvre de ces équipements dans des villages à Madagascar. Comme pour tout projet de cette envergure, des difficultés ont été rencontrées et solutionnées au fur et à mesure.

Les conditions préalables à l'installation de centrales thermoélectriques à biomasse

LA DISPONIBILITÉ EN BIOMASSE, EN EAU ET UN CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE FAVORABLE

L'analyse de ces critères préalables a été largement explicitée dans les articles 3, 4 et 5 et nous n'y reviendrons pas dans le présent article.

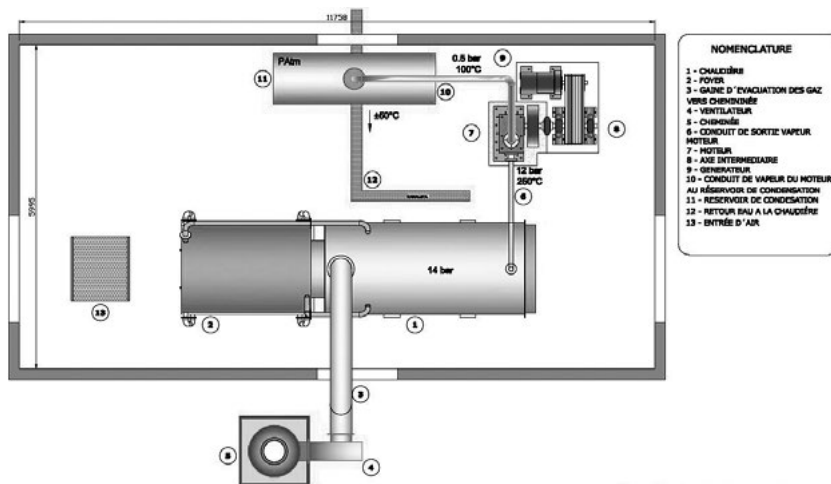
Les caractéristiques techniques des matériels

L'installation est (voir aussi article 2) composée de quatre éléments essentiels à savoir un bloc moteur fonctionnant à la vapeur, une chaudière alimentée en eau à partir d'un puits ou d'une rivière, un foyer de combustion de la biomasse ligneuse ou non ligneuse et un alternateur qui permet d'alimenter un réseau électrique basse tension.

Ce matériel, soit le moteur, le foyer, la chaudière et l'alternateur et les accessoires installés à Andaingo, a été entièrement fourni par la société PSI (voir article 2). Dans les deux autres communes de Manerinerina et de Didy, seuls les moteurs à vapeur ont été fournis par PSI après dérogation de l'UE pour l'acquisition d'un matériel d'origine non UE ou pays ACP et non disponibles dans le pays. Les deux ensembles foyer et chaudière ont été fournis par la société BIONERR, sous-traitant malgache.

Les principales différences entre la première centrale d'Andaingo d'une part et les deux centrales de Manerinerina et Didy d'autre part, concernent les moteurs à vapeur ainsi que les foyers des chaudières : sur les moteurs, le fabricant PSI a apporté des améliorations au système de lubrification en ajoutant une pompe à huile supplémentaire afin de s'assurer une parfaite lubrification de tous les engrenages, paliers, coussinets, etc. Les autres différences entre les installations résident au niveau des foyers : le foyer d'Andaingo est à paroi à tubes d'eau tandis que les foyers des deux autres centrales ont des parois en briques réfractaires. Le foyer à Andaingo est un foyer à bois en rondins ou déchets massifs de scierie, tandis que ceux installés à Manerinerina et à Didy sont des foyers à deux compartiments conçus pour la combustion de bois massif d'une part, et pour la combustion de balles de riz, d'autre part. Autre différence, le foyer d'Andaingo est enterré ce qui facilite le chargement des buches de bois mais rend plus difficile le retrait des cendres tandis que les foyers des deux autres centrales sont surélevés, ce qui permet un décentrage à hauteur du sol.

Figure 1 : Schéma général d'installation de la centrale d'Andaingo (source PSI)



Encadré 1 : Caractéristiques techniques de la centrale thermoélectrique d'Andaingo

Une chaudière à vapeur :

- Construction cylindrique horizontale, à tubes de fumée, avec deux passages de gaz formant la surface de chauffage, avec une capacité en eau de 3500 litres, et une surface de chauffage de 60 m²,
- Pression de service maximale autorisée de 14 Kg/cm²,
- Système d'extraction des fumées,
- Besoin maximum en eau de la centrale 1200 kg/h (66 % recyclée si moteur à vapeur équipé de composants céramiques soit une consommation de 360 Kg/h),
- Pression d'épreuve hydrostatique de 21 Kg/cm²,
- Capacité calorifique de 768 000 Kcal/h,
- Type de vapeur générée : vapeur surchauffée,
- Température de vapeur de 250 °C,
- Le surchauffeur respecte la norme américaine ASTM,
- La température de retour de l'eau est de 100°C,
- La chaleur disponible sur la vapeur condensée en sortie du moteur à vapeur (à 100°C et 1 bar environ) peut être utilisée pour alimenter un séchoir à bois via un échangeur eau chaude/air. La température de retour de l'eau chaude sera alors comprise entre 100°C et 80°C.

Un foyer à biomasse

- Le foyer à biomasse est un foyer à grille et à tubes d'eau adapté à différents types de biomasse combustible lignocellulosique aussi bien des déchets de bois de scierie que des rondins de bois de plantations de résineux ou de feuillus. L'humidité maximale admissible est de 30 % sur brut mais il est préférable d'utiliser un combustible moins humide. Le foyer permet aussi d'utiliser des déchets agricoles tels que des rafles de maïs. L'humidité des rafles ne doit pas dépasser 20 % (sur masse brute),
- Alimentation manuelle en combustible,
- Cendrier enterré permettant un chargement facilité du combustible (à hauteur du sol),
- Le foyer bénéficie du tirage forcé qui est généré par le ventilateur de la cheminée, ce qui permet de réguler le débit des fumées.

Un moteur à vapeur et une génératrice électrique de 75 kW

Le moteur à vapeur de type vertical convertit l'énergie de la vapeur en force motrice. Il est conçu de manière à permettre un recyclage de l'eau vers la chaudière (pas d'huile de lubrification dans le circuit d'eau). Les principales caractéristiques techniques du moteur sont :

- Construction verticale en fonte grise, avec tous les accessoires et la sécurité opérationnelle,
- Pression d'entrée vapeur : 12 Kg/cm²,
- Température d'entrée vapeur : 250 °C,
- Vitesse de rotation nominale 750 tr/min,
- Consommation maximale de vapeur d'eau : 1200 kg/h,
- Puissance de l'arbre du moteur : 97 kW,
- Un arbre de transmission mécanique et renvoi par courroies qui permet d'entraîner la génératrice électrique à sa vitesse nominale : 1 500 tr/min,
- Une génératrice électrique adaptée à un fonctionnement en conditions industrielles soumises aux poussières mais abritée de la pluie : capacité nominale 75 kW électrique,
- Tension 380 Volts,
- Courant électrique alternatif,
- Fréquence 50 Hz.

Un ensemble de contrôle-commande des équipements de la centrale

- Tous les équipements de contrôle et de régulation de la centrale sont réglables soit manuellement soit à partir de l'armoire métallique de commande. L'armoire regroupe les dispositifs de sécurité et de gestion de la production de la centrale thermoélectrique,
- Le panneau de commande de la centrale est en façade de l'armoire métallique.

Tableau 1 : Principales caractéristiques techniques du moteur PSI et de la chaudière BIONERR

Moteur vapeur MVPSI (Model MVPSI 75)	Chaudière 1.4 tonne par heure de vapeur surchauffée
<p>Caractéristiques techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Type : Simple expansion - Puissance mécanique produite (CV) : 100 - Production d'énergie électrique (Kwe) : 75 - Pression maximale de fonctionnement (Kg/cm²) : 14 - Discharge pressure of condensate (Kg/cm²) : 0,5 - Rotation du moteur en charge (tours/min) : 700 - Rotation du moteur à vide (tours/min) : 750 / 780 - Blocking rotation for safety (RPM) : 950 - Tension du réseau électrique (volts) : 220 / 380 / 440 - Fréquence (Hz) : 50 / 60 - Huile de lubrification moteur : Huile minérale - Huile de lubrification des coussinets et joints : Huile SAE-40 - Contrôle de fonctionnement : PLC (Programmable Logic controller) - Contrôle de rotation : Vanne de contrôle 	<p>Caractéristiques techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max. Production à vapeur kg/h : 1400 - Pression d'admission de la vapeur (Kg/cm²) : 12 - Pression d'évacuation de la vapeur (Kg/cm²) : 0,5 - Température vapeur (°C) : 250 - Combustibles : Balle de riz / bois - Rendements : 72 % +/- 2 % avec surface interne et externe propres - Consommation de combustible (à 25 % humidité) : 400 kg/h avec un PCI de 3 500 Kcal/kg - Type de foyer pour le bois : Grille fixe en acier avec parois en briques réfractaires - Type de foyer pour la balle de riz : Grille fixe spéciale en acier/parois en briques réfractaires - Surface de grille (m²) : 2,6 m² « Bois » / 1,4 m² pour le foyer « balle de riz » - Qualité de l'eau requise / dureté inf. 5 ppm, PH : 8,5-9,0 <p>Données techniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Code de construction : IBR 1950 avec les derniers amendements - Pression de design (kg/cm²) : 15 <p>Matériel de construction :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Type acier pour la coque de la chaudière : SA15/516 GR70 ou équivalent - Type d'acier pour les tubes : ERW-BS 3059 ou équivalent - Surface de chauffage (m²) : 80 + 4,7 - Volume d'eau (m³) : 5,16 - Volume de vapeur (m³) : 0,6 - Surface d'interface eau / vapeur (m²) : 3,6 - Poids sec de chaudière (t) : 11 - Préchauffeur d'air (APH) : Coques et tube (modèle avec valve rotatoire) - Surface (m²) : 18 - Température après APH (deg C) : 180-220 - Diamètre de la virolle (mm) : 1924 - Longueur de la virolle (mm) : 3 000 - Diamètre des tubes (mm) : 63,5 - Epaisseur (mm) : 3,66/3,25 <p>Dimensions de la chaudière :</p> <ul style="list-style-type: none"> Longueur (mm) : 6 500 Largeur (mm) : 3 000 Hauteur (mm) : 4 200

Acquisition, installations, démarrage et maintenance des centrales électriques à biomasse

ACQUISITION

L'appel d'offres international a été lancé le 8 janvier 2010 après une période de trois mois pour élaborer le dossier d'appel d'offres dans le respect des exigences contenues dans le guide pratique des procédures de l'Union européenne. Ce DAO contenait, dans l'annexe III des spécifications techniques des matériels d'électrification rurale décentralisée, les quatre articles repris dans l'encadré 2 ci-après.

Encadré 2 : Spécifications techniques des matériels ERD demandés

Article n° 1 : fourniture, transport jusqu'au site dans chaque commune, l'installation, le montage et la mise en route de chacune des 6 unités (identiques) de cogénération d'électricité de 70 kW de puissance installée et de vapeur comprenant chacune un ensemble foyer de combustion de biomasse et chaudière, un moteur à vapeur vertical et une génératrice électrique ;

Article n° 2 : fourniture, transport jusqu'au site dans cinq communes (Ambohijanahary, Didy, Ifarantsa, Mahaditra, Befeta) et installation du réseau moyenne et basse tension ;

Article n° 3 : réalisation des travaux d'infra et de superstructure et livraison des bâtiments pour l'unité de cogénération dans chacune des 6 communes (lesquelles fourniraient des arrêtés municipaux d'affectation des terrains prévus) ;

Article n° 4 :

- élaboration des plans et des spécifications techniques des bâtiments et approvisionnements en eau des six unités de cogénération et des actions de formation et de suivi ;
- établissement des spécifications techniques et des plans de chacun des 6 bâtiments et hangars devant abriter chacune des 6 unités de cogénération ;
- définition des modalités spécifiques d'approvisionnement en eau de chacune des 6 unités de cogénération ;
- études d'impact environnemental des installations à réaliser dans chacune des 6 communes ;
- actions de formation préalablement à la mise en place des différents matériels dans chacune des 6 communes ;
- actions de suivi et d'appui technique pendant un an après la mise en place des matériels dans chacune des 6 communes.

Le cahier des charges pour l'article 1 était similaire aux spécifications techniques de l'installation GESFORCOM d'Andaingo. Compte tenu du nombre réduit de fournisseurs de ce type de moteur à vapeur (à notre connaissance à l'époque deux fournisseurs, dont une société européenne) et anticipant sur les questions de coûts (un ensemble moteur vapeur + foyer + chaudière + alternateur à près de 700 000 euros pour une société européenne contre 200 000 euros avec la solution Brésil-Madagascar), l'UE avait accordé une dérogation d'acquisition du moteur hors pays UE et ACP. Ce n'est qu'après 20 mois d'efforts et d'échange entre les partenaires techniques et financiers du projet, en relation avec le soumissionnaire, qu'un contrat pu être engagé entre l'ADER et l'attributaire du marché. L'UE, au travers de sa délégation avait avalisé le contrat qui engageait l'attributaire à livrer cinq installations³ dans un délai d'un an soit au plus tard le 8 janvier 2013.

Ce contrat n'a malheureusement pas été respecté et le projet pouvait constater le 15 janvier 2013 qu'aucun site n'avait effectivement été équipé. Les efforts se poursuivirent néanmoins avec l'appui de l'UE qui accorda trois prolongations successives en 2013, 2014 et enfin 2015.

À la fin 2015, principalement par la mobilisation des fonds accordés par l'UE (à hauteur de 518 551 Euros sur une subvention prévue de 539 999 Euros) deux installations sont achevées et fonctionnelles. Le fournisseur attributaire du marché aura contribué, à partir des 586 109 des fonds d'avance reçus le 9 décembre 2011 soit trois mois après la signature du contrat, à la réalisation des deux bâtiments et du réseau de la commune de Didy ainsi qu'à des frais liés à l'article 4. Les deux installations auront donc coûté la somme totale de 774 104 Euros dont 67 % à partir des fonds UE et 33 % des fonds ADER sous gestion du fournisseur. Cette proportion s'avère être à l'exact inverse de ce qui avait été prévu dans la proposition de 2006 qui tenait compte, pour un investissement de 1,6 million euros d'un engagement de 1,05 million de l'ADER.

Il apparaît donc que si la commune d'Ifarantsa avait été retirée de la liste des communes à équiper pour cause de destruction de la forêt plantée en *Eucalyptus* sp. de Fanjahira, les communes de Befeta et de Mahaditra n'ont pu être équipées de centrale ERD du fait des problèmes d'ordre financier rencontrés. Ces deux communes ont cependant bénéficié des travaux préalables à l'installation des centrales, dont l'élaboration des SCAB et PSG des formations d'Eucalyptus pouvant être exploitées pour l'approvisionnement des centrales, la mise en place du réseau ERD et la construction du bâtiment à Befeta. Rien n'a été fait à Mahaditra. Les deux maires ont été informés de l'impossibilité d'arriver au bout des deux installations et ils ont fait parvenir au projet une note de constat de l'état d'avancement des travaux.

³ La sixième centrale, celle envisagée pour Ambohijanahary, ayant été supprimée au cours de la phase de négociation du contrat de fourniture des équipements.

INSTALLATIONS ET MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS

L'assemblage des éléments constitutifs de ces centrales thermoélectriques a été fait par l'entreprise malgache BIONERR spécialisée dans les énergies renouvelables pour l'électrification rurale par l'installation d'équipements de gazéification de la biomasse et la fabrication-distribution de cuiseurs à bois économiques. Les compétences des équipes techniques de BIONERR ont permis l'installation des ensembles foyer-chaudière-moteur à vapeur et alternateur des trois sites avec tout ce que cela comporte comme tâches de chaudronnerie, maçonnerie ou encore électricité. Aujourd'hui, une vraie compétence existe à Madagascar dans ce domaine qui lui permettra sans nul doute de participer à des actions de maintenance à venir durant les 20 prochaines années de fonctionnement des centrales, mais aussi à de futures installations du même type.

Les deux « jeunes » installations d'Andaingo et de Manerinerina ont rencontré des déboires dans les premiers mois d'utilisation :

- À Andaingo, c'est une mauvaise manipulation de la vanne de contrôle d'entrée vapeur dans le moteur début décembre 2012 qui a été à l'origine de la plus grosse panne rencontrée. L'installation n'a pas pu être utilisée pendant plusieurs mois et il a fallu organiser la venue des techniciens brésiliens à Madagascar pour d'une part apporter le matériel (dont le piston et les coussinets de bielle et de paliers) et surtout commencer à former les mécaniciens malgaches à la maintenance du moteur à vapeur. Il n'y a pas eu de problème avec les autres grands équipements de la centrale, foyer et chaudière ;
- À Manerinerina, c'est un mauvais câblage électrique au montage de l'installation qui a entraîné un défaut de lubrification des engrenages du moteur dès sa mise en route et a endommagé les coussinets de bielle.

De fait, dans les deux cas il s'agissait d'un problème d'apprentissage des installations et de leur utilisation. Pour permettre au personnel malgache une plus grande autonomie face aux petites pannes techniques tout à fait normales pour ce type d'installation mécanique, une mission de deux semaines de deux ingénieurs électromécaniciens malgaches (personnels des sociétés gestionnaires des centrales) a été organisée en octobre 2013 au Brésil chez le fabricant des moteurs à vapeur. Cette mission a permis d'une part d'assurer la formation à la maintenance de ces techniciens pour qu'ils puissent gérer les petites pannes en autonomie en évitant de longs arrêts de fonctionnement de la centrale, et d'autre part, que toute panne puisse être rapidement gérée par le personnel opératoire et n'ait pas de conséquences sur la viabilité des installations. Ce déplacement, auquel s'était joint un responsable de l'ADER, partenaire technique et financier, a permis de fructueux échanges entre les techniciens malgaches et brésiliens. La simplicité conceptuelle du moteur (les autres équipements ne posaient pas de problèmes spécifiques) rendait cet apprentissage à la fois rapide et efficace.

L'organisation de la maintenance préventive et corrective des installations et de la formation des nouveaux personnels susceptibles de travailler sur les centrales (notamment les compétences d'électromécaniciens) est en voie de formalisation par la constitution depuis octobre 2015 d'une « équipe spécialisée » issue des trois gestionnaires BETC, CASIELEC et SERMAD respectivement chargés par l'ADER de la production d'ERD des communes d'Andaingo, de Manerinerina et de Didy, qui sont à même d'échanger les expériences, les pratiques, les fournisseurs, etc. Ces techniciens, mécanos des gestionnaires ont toute la capacité pour assurer la confection des pièces non disponibles chez des spécialistes de la place. À plusieurs reprises, il a fallu, chez les tourneurs, à partir d'une pièce de métal brut, répliquer des tiges, coussinets, paliers, quand il ne s'agissait pas de ré-usiner le vilebrequin, comme cela est arrivé pour le moteur d'Andaingo. Ce résultat est un vrai succès du projet et de ses partenaires et doit être souligné dans la perspective de l'après-projet et du retrait des équipes d'appui. Espérons que cette équipe inter-entreprises gestionnaires pourra rester solidaire après la fin du projet.

Fin 2015, près de trois ans après son démarrage, l'installation d'Andaingo est fonctionnelle. Les principales difficultés sont relatives à la gestion de l'approvisionnement en biomasse et de la distribution d'électricité ! Mais c'est une autre histoire. Une fois les problèmes techniques « de jeunesse » solutionnés, les partenaires CIRAD, PARTAGE et FOFIFA ont poursuivi leurs travaux pour mettre en place les conditions d'exploitations raisonnées des ressources en bois combustible et assurer l'organisation de l'approvisionnement durable des centrales en biomasse ligneuse.

L'approvisionnement est réalisé sur les bases des aménagements forestiers durables élaborés en 2010 et 2011 et qui ont abouti à l'élaboration de (i) Schémas communaux d'approvisionnement en biomasse (SCAB) à partir des plantations d'Eucalyptus à Andaingo et (ii) de Plans simples de gestion (PSG) des formations naturelles à *Ziziphus mauritiana* à Manerinerina. Ces travaux pour un approvisionnement durable et respectueux de l'environnement sont présentés dans les articles 4 et 5.

Comme pour tout objet technique, une bonne connaissance des principaux équipements est nécessaire, d'une part comme nous venons de le voir, pour en assurer la maintenance avec rigueur, mais aussi dans notre cas de figure pour capitaliser sur les retours d'expérience sur ce modèle de moteur à vapeur (modèle de 75 kW) conçu pour répondre à la demande de petites communes et mis en œuvre ici dans des conditions réelles à Madagascar. C'est pourquoi le projet a défini avec les opérateurs un dispositif de relevé des paramètres de consommation de biomasse, consommation d'eau, et de la production totale d'électricité, ainsi que de l'autoconsommation d'électricité par la centrale. Ces paramètres ont été collectés, à intervalles réguliers par le partenaire FOFIFA. Les données ont été analysées par le responsable technique énergéticien du sous-traitant BIONERR qui a pu les prendre en considération pour rédiger un article sur les performances des centrales.

Hors contraintes contractuelles et de mise en place des paiements aux fournisseurs sélectionnés par l'attributaire du marché de fournitures qui ont occasionné de nombreux retards, la fabrication et l'installation des éléments des articles 1, 2 et 3 du contrat se sont déroulées normalement. Le fournisseur des moteurs a pu assurer cette fabrication tout en capitalisant sur les difficultés technologiques relevées lors de la première installation à Andaingo. Des améliorations significatives ont été apportées aux deux installations notamment pour ce qui concerne le système de lubrification et de sécurisation (vanne automatique de fermeture de l'entrée vapeur) du moteur. Des améliorations ont aussi été apportées à la régulation automatique de l'entrée vapeur même si la rapidité n'est pas encore totalement satisfaisante.

Cadre institutionnel pour la mise en place et le fonctionnement des centrales ERD biomasse vapeur

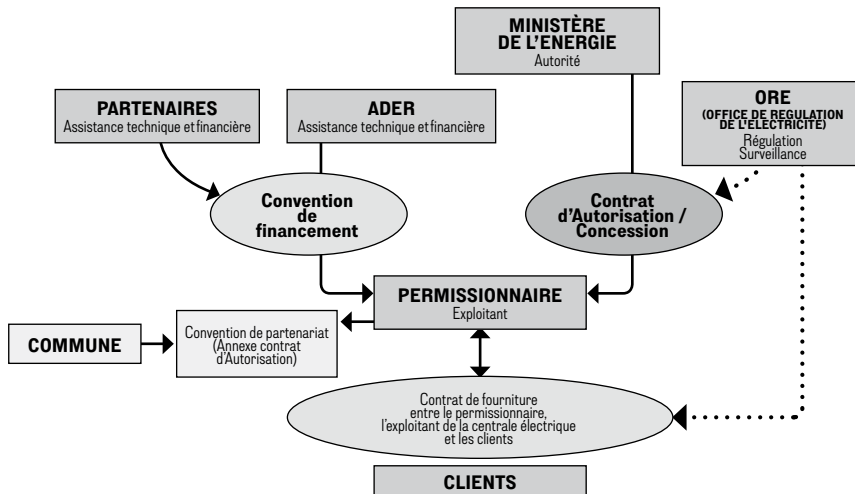
LA SUBVENTION DE L'ADER

Le financement des projets d'énergie renouvelable est basé sur le système de Partenariat Public Privé. Conformément aux dispositions du décret 2002-1550 instituant l'ADER. Cette institution au statut d'Établissement public à caractère administratif peut octroyer aux exploitants des subventions prélevées sur le Fonds National de l'Électricité (FNE). Ceci permet de financer une partie des coûts d'investissements des exploitants dans le cadre d'un projet d'ERD pour faire baisser le tarif dans la limite de la capacité à payer des consommateurs. L'ADER est aussi chargé, au travers du mandat qui lui est donné par l'État au travers du Ministère en charge de l'énergie, d'assurer la sélection des opérateurs d'ERD à Madagascar. Dans le cas particulier de la proposition de projet BIOENERGELEC, l'ADER avait prévu la mobilisation de 65 % du coût d'investissement des cinq centrales thermoélectriques.

Les conditions d'octroi des subventions par l'ADER sont objectives et transparentes. Celles-ci sont définies par l'arrêté interministériel n°36150/2010 en date du 12 octobre 2010 qui fixe les modalités et les procédures de calcul et d'attribution des subventions prélevées sur le FNE pour le financement des projets d'ERD. La subvention de l'ADER ne peut excéder 70 % du montant total des investissements (hors frais d'études) et son montant dépend de la subvention de la Commune et de la contribution des autres partenaires techniques et financiers. Cette demande de subvention s'effectue en même temps que la demande d'autorisation et/ou de concession. Elle précise l'objet et la durée de la convention, le nombre de clients raccordés au terme des 24 mois suivant l'entrée en vigueur de la Convention de financement, les obligations du gestionnaire (services proposés, périmètre d'intervention autorisé, tarifs, assurances, fonds propres, garanties), etc.

Cette convention prévoit de présenter en annexe (article 13 de l'arrêté interministériel n°36150/2010) la technologie de production et de distribution d'énergie électrique, le montant détaillé des investissements d'équipement et d'installation du projet, le programme de réalisation et le plan d'investissement, etc.

Figure 2 : Les relations contractuelles de la mise en place d'une installation ERD



CRITÈRES D'ÉLIGIBILITÉ DE L'OPÉRATEUR

Les projets d'électrification rurale sont identifiés dans le cadre d'un processus de planification initié par l'ADER. Les projets identifiés, en collaboration avec les collectivités locales, font ensuite l'objet d'études de faisabilité avant leur mise en œuvre soumise à autorisation ou à concession du Ministère de l'Énergie. Le choix de l'opérateur chargé de la mise en œuvre s'effectue par appel d'offres suivant les deux modalités ci-après :

- Appel à projets (AP) : il est laissé aux soumissionnaires le soin de définir la technologie qu'ils considèrent appropriée ou plus efficace pour répondre aux besoins d'électrification exprimés ;
- Appel à candidatures (AC), la technologie est définie par l'ADER suivant le résultat de l'étude de faisabilité réalisée.

Les critères d'éligibilité de l'opérateur de mise en œuvre sont les suivantes (conformément au décret 2001-173 du 28 février 2001 fixant les conditions et modalités d'application de la loi n° 98-032 du 20 janvier 1999 portant réforme du secteur de l'électricité, les autorisations/concession) :

- la capacité du soumissionnaire à respecter ses obligations et à mener à bien les activités objets de l'Autorisation ;
- les conditions et délais de réalisation des ouvrages de l'Autorisation et de leur mise en service ;
- la capacité du soumissionnaire de disposer de moyens financiers suffisants ;
- la capacité du soumissionnaire à respecter les règles et normes applicables en matière de sécurité des personnes, de protection de l'environnement et de la réglementation d'urbanisme ;
- la capacité d'assurer la sécurité et la sûreté des réseaux électriques, des installations et des équipements associés ;
- la capacité du soumissionnaire d'assumer la responsabilité civile découlant de l'activité objet de l'Autorisation ;
- la prise en considération de l'utilisation des sources d'énergie locales ;
- le prix proposé pour les services.

APPROVISIONNEMENT EN BIOMASSE DES CENTRALES ÉLECTRIQUES DES COMMUNES RURALES

Les conditions d'attribution des gestionnaires dans ces deux communes ont été différentes dans la mesure où dans la première commune, CASIELEC disposait déjà depuis plusieurs années d'une concession pour une unité fonctionnant avec un groupe thermique gasoil. L'ADER a simplement procédé à un complément dans la convention en stipulant la mise en place de l'ensemble ERD biomasse. À Didy, qui n'était pas équipée, c'est par une procédure d'appel d'offres que la société SERMAD a été retenue. Celle-ci devait, dans sa réponse fournir tous les éléments liés à la gestion de la production et à la commercialisation de l'ERD biomasse. Ainsi, il était demandé de préciser les conditions d'approvisionnement de la chaudière en eau (quantité et qualité suffisantes) et du foyer en bois et balles de riz.

Biomasse Bois

Le SCAB et les PSG prévoient les conditions de cet approvisionnement en biomasse ligneuse et non ligneuse. Dans le cas de Didy, il est prévu un approvisionnement en biomasse à partir de l'exploitation de plantation d'Eucalyptus. Les solutions possibles sont considérées dans le contrat entre la commune, le gestionnaire et les fournisseurs :

- le fournisseur exploite son propre lot et le gestionnaire s'occupe du transport des bois à la centrale ;
- Le gestionnaire organise l'achat du bois auprès des fournisseurs légaux en fonction des besoins de son activité de production d'électricité.

Le gestionnaire achète le bois au prix fixé dans le contrat de vente entre les deux parties. Le fournisseur doit délivrer une promesse de vente au gestionnaire qui peut ainsi compter sur le bois qu'il aura réservé. Le fournisseur se charge des opérations de l'exploitation (abattage, ébranchage et mise en stère) et transports du bois jusqu'à la centrale en respectant la législation sur le transport des produits forestiers en vigueur (arrêté 38-83 du 26 septembre 1974). Le gestionnaire doit constituer un stock de biomasses correspond à un minimum de trois (3) mois de fonctionnement ; ce qui correspond à la période de stockage durant laquelle le bois subira un séchage naturel intéressant pour améliorer son PCI sans que la durée soit trop longue. La commune doit faciliter, dans la mesure de ses prérogatives, l'approvisionnement régulier de la centrale qui est cependant de la responsabilité du gestionnaire.

Conditions d'approvisionnement en biomasse

Le PSG et le SCAB sont proposés par les fournisseurs à l'administration forestière qui se chargera de faire appliquer les dispositions approuvées dans le PSG et le SCAB. La transaction se fait par vente et achat de bois « non écorcé et non fendu en longueur définie par commun accord entre le gestionnaire et le fournisseur ». L'unité de transaction est le stère UI (Unité internationale) soit 1 m³ apparent.

Les fournisseurs doivent se regrouper dans une association. Les propriétaires de plantation et les dépailliers (ainsi que les paysans) qui envisagent approvisionner en biomasse la centrale doivent être membre dans l'association des fournisseurs.

Le prix d'acquisition de la biomasse proposée par les propriétaires des plantations et la commune rurale de Didy (lors de l'atelier national à Moramanga en décembre 2012) a été le suivant :

Bois d'Eucalyptus :

Si le fournisseur prend en charge l'abattage, la mise en stère à la parcelle et le transport du bois jusqu'à la centrale, Le bois est acheté à onze mille cinq cent (11 500) ariary par stère UI. Si le fournisseur prend tout en charge (l'abattage et la mise en stère à la parcelle) sauf la livraison, le prix du bois non livré sera de sept mille ariary (7 000 Ar) par stère UI.

Balle de riz et « Troka » :

Le prix au kilo de balles de riz (mis en sac) mais non livré, est de vingt sept ariary (27 Ar/Kg). Le prix au kilo des balles de riz (mis en sac) et livré est de quarante cinq ariary (45 Ar/kg).

Paille et autre biomasse :

En prévision d'une possible diversification future des biomasses utilisées, le prix d'une remorque de motoculteur de paille ou autre biomasse livrée à la centrale est de dix mille ariary (10 000 Ar/chargement).

Premier retour d'expériences sur les conditions de fonctionnement des centrales électriques vapeur à biomasse

Les opérateurs des centrales, les sociétés BETC à Andaingo, SERMAD à Didy et CASIELEC à Manerinerina sont en charge du fonctionnement des centrales pour lesquelles ils ont une concession d'exploitation à long terme pour 20 ans.

Par rapport aux centrales à groupe électrogène diesel, les centrales à biomasse doivent être exploitées bien différemment pour en retirer pleinement les avantages (cf. Article 3 - Tableau 1 : Principaux éléments de comparaison de deux types de centrale de production pour l'électrification rurale). En particulier, ce type de centrale à biomasse doit produire beaucoup plus longtemps au cours de la journée que les 3 ou 4 heures de production généralement assurée par les centrales à groupes diesel. Or, pour convaincre les clients capables d'acheter régulièrement une quantité importante d'électricité en journée, c'est-à-dire les entrepreneurs, artisans et commerçants, cela implique que les opérateurs prennent un engagement envers ces clients de produire de manière régulière et fiable l'électricité dont ils auront besoin pour faire fonctionner leurs équipements de production. Ce « pas » est difficile à réaliser par l'opérateur tant qu'il n'a pas suffisamment de recul (ou de garantie) sur la véritable capacité de sa centrale à assurer la production nécessaire !

Une certaine frilosité peut se comprendre durant les premiers temps. Cependant, la mise en valeur de la véritable capacité de production des centrales électriques à biomasse est un enjeu économique fort pour les opérateurs car elle a le potentiel de commercialiser 10 ou 15 fois plus d'électricité, donc de multiplier d'autant leur chiffre d'affaires !

Un autre écueil est le manque d'expérience dans la gestion des approvisionnements en biomasse qui doivent être anticipés pour permettre le séchage du bois pendant son stockage sur une période évaluée à au moins 3 mois de production, soit 200 à 300 m³ de bois stockés.

Que ce soit pour le bois ou les déchets agricoles (balles de riz, rafles de maïs), le stockage nécessite de la place et de la main-d'œuvre. Ce sont des coûts nouveaux qui doivent être acceptés par les opérateurs jusque-là habitués à acheter le gasoil au jour le jour. Il est nécessaire de mettre en place une organisation pratique adaptée mais aussi de constituer un fonds de roulement spécifique à même de préfinancer les coûts de constitution du stock. Le risque existe aussi, fréquemment évoqué par les opérateurs, de se faire dérober du bois stocké : c'est un frein à l'adoption des bonnes pratiques en matière de séchage naturel du bois-énergie. Il faut aussi laisser le temps aux opérateurs et à leurs employés d'assimiler ce nouveau fonctionnement de l'installation de production d'ERD avec changement d'énergie du gasoil vers la biomasse.

Du côté des clients, il faut aussi compter qu'il y a un temps d'adaptation entre le moment où l'opérateur offre le service de l'électricité en journée (et pas seulement le soir) et le moment où l'artisan ou le commerçant s'équipe en moteur et équipements électriques de production : machines à moteurs électriques, postes à souder, réfrigérateurs ou congélateurs, etc. artisan a besoin d'assurance sur la fiabilité de la fourniture d'électricité en journée aux heures de ses activités de production. En l'absence d'incitation

à l'investissement dans des moteurs et équipements électriques, la tendance est à l'adoption d'une période assez longue (à Madagascar) d'observation du mode de fonctionnement réel et de la qualité du service énergétique susceptible de lui être délivré.

Bien que la technologie soit assez simple d'usage, sa mise en œuvre n'apparaît pas forcément évidente pour l'opérateur chargé de son exploitation. Ainsi, il n'est pas simple pour le modèle économique de l'opérateur de la centrale électrique de passer d'une situation initiale « village non électrifié » ou « village électrifié uniquement le soir entre 18 et 22h » à une situation où l'offre du service de l'électricité est effective toute la journée (de 5h à 23h par exemple). Dans l'idéal, le gestionnaire d'une centrale ERD aimerait avoir des engagements de ses clients sur la quantité d'électricité qu'il va vendre tout au long de la journée. Cela lui permettrait d'organiser au mieux son planning de production et maîtriser les coûts de l'électricité.

Encadré 3 : Interview d'un opérateur d'un atelier de décortilage de paddy à Manerinerina

L'enquêté est gestionnaire d'un atelier de décortilage de paddy à Manerinerina. Il utilise un groupe électrogène de 33 kVA qui fait fonctionner trois moteurs électriques de puissances respectives 5, 10 et 30 kW ; 7 jours sur 7 pendant une durée moyenne de 10 heures par jour (de 7 à 17 heures). Il traite uniquement le décortilage du riz des collecteurs de paddy et/ou des producteurs (ménages) du village. Nous avons recherché son opinion sur l'électrification rurale décentralisée à biomasse-vapeur.

Comment percevez-vous l'arrivée de l'électricité dans votre Commune ?

L'électrification de notre commune va créer d'autres activités et va permettre l'extension des diverses activités économiques déjà en place. L'électricité est prioritaire pour le développement. Son arrivée apporte la lumière, conforte la sécurité, permet à la population d'accéder aux diverses informations sur la mondialisation et participe à son bien-être. Si vous avez remarqué, il y a déjà actuellement l'installation de nouveaux charrons et la quasi-totalité des épi-bars et des gargotes sont pourvus de réfrigérateurs. D'autres villages veulent aussi avoir l'électricité chez eux.

Si les autres en demande autant selon vous, pourquoi votre usine qui se trouve auprès du marché fonctionne toujours avec le thermique ?

C'est vrai que ma petite usine n'est pas encore raccordée au réseau, mais ma famille utilise déjà l'électricité par biomasse dans mon foyer depuis son démarrage. Ce qui m'empêche et me fait hésiter pour le moment c'est le service. Les heures de la fourniture du courant ne correspondent pas à mes heures de travail. Seulement, la centrale ne fonctionne que le jour du marché (samedi) et le dimanche de 9 h à 12 h et de 14 h à 23 h et parfois pendant les jours de fêtes. Mais quotidiennement, il n'y a de courant que la soirée (de 18 à 23 heures) pour l'éclairage public et les ménages. C'est vrai que le prix du kWh est intéressant même actuellement mais en attendant que la centrale fonctionne bien (24/24 heures et sans panne mécanique fréquente selon le responsable de la centrale), je préfère rester sur un groupe électrogène pour l'usine. À quoi bon changer d'installation si ça ne peut encore satisfaire les besoins ?

Vous parlez du coût de l'électricité et de la durée de service. Et si la centrale va maintenant fonctionner sans interruption et avec la biomasse, que ferez-vous ?

Actuellement, j'utilise un groupe électrogène de 33 kVA avec 3 moteurs électriques respectivement de 5, 10 et 30 kW dans mon usine. Nous travaillons chaque jour de 7 heures à 17 heures et cela toute la semaine. Généralement, la capacité moyenne de transformation de l'usine est de 2 tonnes/h, mais cela varie suivant l'arrivée des clients et la quantité de paddy à décortiquer. En période « asara* » cette quantité peut dépasser les 10 tonnes/jour, surtout le jour de marché. Cela nécessite une alimentation continue et gérable d'électricité, car on doit arrêter le dépaillleur au moment où il n'y a pas de clients, ou bien on travaille sans arrêt toute la journée. En termes de carburant et de maintenance, le moteur consomme environ 4 litres de gasoil pour 800 kg de paddy (10 sacs de 80 kg) avec 3200 Ar/l, prix local. La courroie est changée tous les 2 mois et nous effectuons une vidange par mois de l'huile du moteur du groupe électrogène.

En termes de dépenses, ne serait-ce que pour le carburant, je peux vous dire que je préférerais me raccorder au réseau de la centrale car je dois payer chaque jour 150 000 à 160 000 Ariary pour l'achat du gasoil. Avec la biomasse, même avec le tarif actuel de l'électricité, cela pourrait diminuer d'un tiers au moins et les heures de travail ne seront plus limitées.

Votre ménage est actuellement connecté au réseau électrique, comment appréciez-vous l'utilisation du service actuel de l'électricité et quelles suggestions proposez-vous pour l'améliorer ?

Pour le moment, la centrale fonctionne encore avec le groupe électrogène et je n'ai pas d'idées mais l'éclairage fait déjà du bien pour mon ménage même si c'est seulement jusqu'à 11 heures du soir.

D'après ce qu'on m'a dit, c'est un nouveau système à Madagascar. Le fait que le moteur fonctionne avec de l'eau, du bois, de la balle de riz ou de la rafle de maïs ne va pas poser de problèmes. Ici à Manerinerina et dans la région, il y a suffisamment de ces biomasses surtout le bois de « *mokonazy* » (jujubier) qui on pourrait utiliser. De ce fait, je pense que lorsque la centrale fonctionnera bien avec de bois, le prix de kWh va diminuer un peu. À mon avis, les gens ont besoin du courant mais c'est encore limité surtout pour l'utilisation de frigo, la lumière et les sons pour les animations nocturnes. En ce qui concerne les risques de pannes, les concepteurs ont dû donner aux mécaniciens malgaches qui sont très compétents le secret d'une utilisation correcte des machines et on verra que tout ira bien. »

* De janvier à mars

Recueil des éléments techniques de fonctionnement d'une centrale thermoélectrique à biomasse

Les centrales ERD biomasse vapeur sont une innovation récente à Madagascar. Celle-ci a été portée par les projets GESFORCOM et BIOENERGELEC avec les moyens financiers et techniques de l'ADER confortée par l'UE dans le cadre de ses appels à proposition du programme FED.

Comme souligné dans l'article 0, lorsque ces propositions ont été imaginées et proposées, le recul nécessaire de fonctionnement de ce type d'installation n'existait pas : le fabricant brésilien avait mis au point ce moteur en « *down sizing* » du moteur de 150 kWe qu'il proposait déjà à la vente. Le moteur redimensionné à 70 kWe visait à satisfaire une demande de communes rurales d'environ 2 000 habitants disposant de ressources en biomasses locales. La solution biomasse prenant ainsi place parmi les solutions ERD à base d'énergie renouvelable au côté des solutions solaire ou hydraulique (quand un site est aménageable). Les installations ENR ont toutes des avantages et des inconvénients (voir article 2) et il est possible, après coup de relever telle ou telle insuffisance.

Avec un recul de trois ans, il est possible de faire le point sur le fonctionnement technique des deux installations mises en place (avec des durées de fonctionnement variables) et d'en tirer les enseignements pour le futur. Il s'agit notamment de répondre à la question de savoir si « cette technologie confirme ou non sa pertinence parmi les sources d'énergie renouvelable adaptées pour développer des installations ERD ? »

L'équipe FOFIFA du projet a travaillé au recueil des paramètres de fonctionnement des centrales ERD d'Andaingo et de Manerinerina dès l'étape de mise en service. Ce protocole de suivi a été défini en concertation avec les opérateurs et permet de répertorier les informations les plus importantes : approvisionnement en biomasse (quantités et caractéristiques des biomasses utilisées dans le foyer) et en eau (quantité de vapeur produite) pour une production d'électricité donnée (relevé régulier des compteurs électriques).

MODÈLES DE RELEVÉS PARAMÉTRIQUES

Rappel des relevés classiques en centrale thermique diesel

Habituellement, les opérateurs d'ERD remplissent un « cahier de centrale » afin de relever la production d'électricité comptabilisée sur les compteurs de toute centrale et les intensités relevées toutes les heures, ainsi que les consommations de gasoil et autres intrants (huile-moteur par exemple). Cela permet de vérifier que les équipements de production fonctionnent bien et d'organiser les opérations de maintenance en temps voulu, comme le remplacement de l'huile-moteur et des filtres à huile et à gasoil aux pas de temps préconisés par le constructeur.

Cahier de centrale thermoélectrique à biomasse

Le protocole de suivi adapté permet de déterminer mois après mois les consommations spécifiques en eau et en biomasse par kWh électrique (kWe) produit. Il permet de déceler si un problème survient (par exemple une fuite sur le circuit d'alimentation en eau peut être détectée si l'on relève une augmentation inexplicquée de la consommation d'eau), et de suivre l'évolution des performances globales de la centrale. Le cahier de centrale thermoélectrique à biomasse comprend plusieurs paramètres supplémentaires spécifiques tel qu'indiqué dans le modèle complet de tableau proposé par le projet (cf. Feuillet central, page E, figure 3).

COMMENTAIRES SUR LE CAHIER TYPE DE CENTRALE THERMOÉLECTRIQUE À BIOMASSE

Le cahier de centrale thermoélectrique à biomasse vise à relever la consommation de biomasse au cours du temps. Il est nécessaire de disposer sur site d'une balance installée et fonctionnelle ou bien d'un autre mode de comptage « par stère de bois » par exemple à la condition que l'on vérifie régulièrement le

poids d'un stère (densité et humidité du bois). En fonctionnement normal, il est recommandé de noter l'heure du chargement du foyer et la quantité de bois enfournée. Il est recommandé enfin de noter les variations de la demande de biomasse au début et à la fin des « heures de pointe » en tenant compte de l'anticipation opérée par le responsable de l'enfournement. Dans le cas de l'utilisation des balles de riz, un relevé heure par heure du nombre de sacs utilisés convient sachant qu'il est demandé de noter en colonne « observation » toute variation du débit de biomasse utilisée entre deux pointages. Il est recommandé par exemple de noter les variations de demande de biomasse au démarrage et à la fin des heures de pointe. Là encore, on vérifiera les caractéristiques des sacs utilisés comme unité de comptage de la consommation de balles de riz (poids et taux d'humidité, voir taux de matière minérale).

Le relevé régulier de la consommation d'eau permet de s'assurer que la quantité d'eau utilisée est normale, c'est-à-dire qu'elle est en conformité avec le rythme d'utilisation de la centrale. Il permet de suivre le ratio moyen de consommation d'eau par kWh produit. Il nécessite un compteur d'eau installé sur le conduit d'alimentation de la « bûche à eau » de la centrale. La fréquence de relevé du compteur peut être adaptée au degré de surveillance nécessaire : relevé chaque heure en cas de surveillance forte consécutive à un incident par exemple ou relevé à chaque changement de quart (chaque 7 à 8 h) en fonctionnement normal (par exemple pour 18 heures de production par jour).

RETOUR D'EXPÉRIENCE DU SUIVI À LA CENTRALE DE MANERINERINA

Un travail spécifique réalisé à Manerinerina a permis de suivre la centrale à biomasse en production à partir du bois de *Zizyphus* sp. (*Mokonazy*) et réaliser un relevé expérimental des paramètres de fonctionnement. Un objectif spécifique était de disposer de données précises en effectuant des relevées à un pas de temps plus rapproché que celui du cahier de suivi rempli par les opérateurs pour affiner la précision des données. Les relevés ont été réalisés à chaque 15 minutes (et parfois 10 si possible). Ce travail a permis de vérifier la bonne adéquation du protocole de suivi des centrales thermoélectriques et du suivi de la consommation d'eau et de bois proposé par le projet BIOENERGELEC. Il a aussi permis de faire un point d'étape sur l'utilisation de la centrale par l'opérateur CASIELEC. Le tableau 2 détaille les constats et recommandations sur l'approvisionnement en biomasse et les conditions techniques de fonctionnement des équipements des centrales.

Sur cette base, les principaux points à retenir sont résumés ci-après :

- Au moment de ce travail de suivi par le Projet, les opérateurs n'avaient pas encore beaucoup d'expérience dans la conduite de la centrale. L'acquisition par le personnel d'une plus grande expérience jour après jour (surtout dans les premiers mois « d'apprentissage ») avec la volonté d'améliorer la conduite de la centrale est un facteur essentiel de l'utilisation efficace et rationnelle des équipements.
- Les suivis réalisés ont permis une première évaluation de la consommation spécifique en bois sec, évaluée en moyenne à 7 kg de bois par kilowattheure électrique produit. Cette détermination a été réalisée sur une période relativement courte (nous avons suivi 6 heures de production effective sur le réseau électrique) à un taux de charge variant entre 20 % et 35 %, et le taux moyen d'humidité du bois était de 20 % de la masse brute (taux d'humidité en moyenne des 30 échantillons analysés). Cette consommation spécifique relativement élevée devrait pouvoir être facilement réduite quand les conditions de fonctionnement de la centrale seront normalisées avec :
 - Un taux de charge plus élevé.
 - Une plus grande durée de fonctionnement lors des mesures : notre suivi a été réalisé sur une période trop courte pour être véritablement représentatif de la performance de la centrale.
 - Une amélioration de l'expérience des opérateurs dans la conduite de la centrale qui viendra avec davantage de pratique : meilleure conduite du feu, moins de perte de vapeur (et donc d'énergie) qui sont intervenues à plusieurs reprises par déclenchement des soupapes de sécurité (qui était réglée à 10,5 bars ; et qui devrait pouvoir être remontée, en toute sécurité, à 12,5 bars si l'on considère la valeur constructeur de 14 bars admissibles).
- Le suivi expérimental (acquisition de données à un pas de temps court, 15 mn) devrait être réalisé quand le réseau sera chargé entre 35 et 100 % de la capacité nominale de l'installation pour être mieux représentatif des performances de la centrale de production ERD en conditions classiques de fonctionnement.

Recommandations techniques pour le fonctionnement nominal de centrale thermoélectrique par combustion de biomasse

Le tableau 2 suivant présente les principaux constats et recommandations sur des paramètres techniques pour des conditions de fonctionnement normal de centrale électrique par combustion de biomasse.

Tableau 2 : Constats et recommandations techniques pour le fonctionnement des équipements d'une centrale thermoélectrique à biomasse.

Paramètres techniques considérés	Recommandations à mettre en œuvre	
Défaillances techniques de certains équipements de la centrale.	Remettre en état les équipements qui s'usent ou ne fonctionnent plus correctement.	<i>Constituer un stock de pièces détachées et petits équipements de remplacement des pièces d'usure, et toutes pièces indispensables au fonctionnement qui peuvent être remplacées sur place.</i>
Maintenance des équipements de la centrale thermoélectrique à biomasse.	Procéder à une maintenance préventive quotidienne des équipements pour réparer « dans les règles de l'art » durablement au fur et à mesure de l'apparition des défaillances. Mettre en place et respecter une procédure opérationnelle de maintenance.	<i>Se donner les moyens humains (personnel motivé et sérieux) et matériels (stocks de pièces détachées et petits équipements indispensables au fonctionnement facilement remplaçable lors de la maintenance quotidienne : pièces d'usures, joints, coussinets, roulements, petits moteurs électriques, petites pompes à eau, etc.).</i>
Système de régulation du débit de vapeur.	Demander auprès du fournisseur brésilien l'amélioration des performances du 1 ^{er} modèle de vanne automatique pilotée utilisée sur la centrale d'Andaingo.	<i>Maintenir un agent à proximité de la vanne manuelle pour l'actionner et piloter ainsi la vitesse du moteur dans la gamme donnée par le constructeur.</i>
Le personnel chargé de la centrale doit être véritablement organisé pour faire fonctionner la centrale biomasse tout au long de la journée.	Responsabiliser et donner les moyens (par la prise en charge des coûts de maintenance) le chef de site / chef de quart. Compléter la formation et chercher à <u>stabiliser le personnel opérationnel de la centrale.</u>	<i>Mettre en place deux ou trois équipes d'agents pour un fonctionnement en 2 ou 3 quarts selon la durée quotidienne de la production d'ERD. Le nombre d'employés pour conduire la centrale doit être d'au moins 3 personnes par quart. Une quatrième personne peut être nécessaire pour un chargement rapide de la biomasse dans le foyer (important en période de pointe, pour ne pas subir de baisse inopinée de pression vapeur).</i>
La grande inertie thermique de la chaudière permet de valoriser au mieux l'installation en vendant de l'électricité aux clients tout au long de la journée.	Les périodes de production doivent être allongées par rapport à la production par groupe diesel, car c'est la disponibilité d'ERD <u>tout au long de la journée (et pas seulement pour les besoins domestiques entre 18h et 22h)</u> qui permet véritablement le développement économique et social.	

Conclusion

Les centrales électriques à biomasse de Manerinerina et de Didy sont opérationnelles et sont dédiées à produire durablement de l'électricité en ERD à un coût compétitif (le coût est divisé par 2 à 3 par rapport à une centrale par groupe électrogène au diesel). Ces performances devraient permettre d'approvisionner plus de clients grâce à un prix de vente attractif, compris entre 700 et 1000 Ar/kWh selon le contexte de production en électricité non seulement pour les ménages qui ont des besoins domestiques mais aussi des artisans et d'obtenir une rentabilité intéressante pour l'opérateur grâce à un coût de production bas.

Sur la base des premiers résultats de consommation de bois mesurés, 7 kg de bois par kWh produit, le coût de la biomasse ne représente que 90 à 170 Ar/kWh vendu – coût de l'autoconsommation d'électricité par la centrale elle-même inclus.

L'investissement par les opérateurs dans un personnel motivé et compétent, la constitution d'un stock de bois combustible, la constitution d'un stock de pièces détachées et l'adoption d'une procédure de maintenance performante est nécessaire pour permettre une rentabilité optimale des fonds propres.

Les gestionnaires sont en mesure de :

- S'approprier de l'équipement dont chacun a obtenu la concession et le faire fonctionner régulièrement de manière à se rendre compte du potentiel de gain de performances et de génération de *cash-flow* au fil des 20 à 30 années à venir,
- Faire fonctionner la centrale 18 heures par jour afin que les agents connaissent de mieux en mieux le comportement des équipements (foyer, générateur de vapeur, moteur à vapeur, système de régulation) et se forment de plus en plus par la pratique de l'utilisation des machines,
- Valoriser pleinement les équipements et les compétences acquises lors des formations dispensées au Brésil ou sur les sites,
- Investir dans la maintenance préventive et corrective des équipements par des moyens financiers et humains suffisants assurant la continuité de l'équipe mixte de maintenance constituée en octobre 2015 avec l'appui du projet.

Bibliographie

Pinta F., 2015. Définition du cadre de suivi des paramètres de fonctionnement d'une centrale thermo-électrique à biomasse, étude de cas à Manerinerina, et suivi à Andaingo. Rapport de mission projet BIOENERGELEC.

Pinta F., 2014. Appui méthodologique pour la mise en place du suivi des paramètres techniques clés de fonctionnement des centrales de Manerinerina et des autres centrales à biomasse pour l'ERD et l'organisation des stages Master 2 pour le suivi technique à Andaingo et Manerinerina. Rapport de mission Projet BIOENERGELEC.

SEDRA, la Stratégie Energie Domestique de la Région Anôsy

Approvisionnement durable en bois énergie des grands centres urbains et gestion durable des ressources par la responsabilisation des acteurs locaux

Serge RAZAFIMAHATRATRA,
Zo Mampionona RATSISERAINA,
Ndriana RAZAFINDRATOVO

Contexte et enjeux

À l'instar des autres régions de Madagascar, la question de l'énergie domestique de la région Anôsy se focalise sur les combustibles ligneux dont le bois de chauffe¹ et le charbon de bois² largement consommés par les ménages urbains. Le tableau 1 ci-dessous présente les résultats obtenus en 2000 et 2005 et illustre les conditions de l'approvisionnement en bois de chauffe et en charbon de bois en énergie domestique des ménages ruraux et urbains dans la région Anôsy.

Tableau 1 : Utilisation de bois énergie dans la région Anôsy

	Toalagnaro		Autre urbain		Autre rural		Total	
	Nb Population (personnes)	%	Nb Population (personnes)	%	Nb Population (personnes)	%	Nb Population (personnes)	%
Utilisateurs de charbon de bois	594 000	90%	11 777	40%	7 635	2%	78 813	17%
Utilisateurs de bois de feu	66 000	10%	17 666	60%	374 137	98%	398 402	83%
Sous total	66 000	100%	29 443	100%	381 772	100%	477 215	100%

Source : enquête JariAla (2005), PNEBE (2000)

La question qui se pose serait alors celle de la gestion responsable de la ressource bois-énergie qui assurerait l'approvisionnement en énergie domestique des grands centres urbains de la Région Anôsy, tels que les districts de Toalagnaro et d'Amboasary Sud, sans pour autant augmenter la dégradation des forêts.

En octobre 2005, une « revue de la situation énergétique de la région » (Rasolofo et al., 2005) réalisée par le projet JariAla³ de l'USAID a permis d'apporter des propositions pour développer des solutions durables à la problématique liée à la gestion de la filière bois énergie qui évoluait dans un cadre d'exploitation quasi illégal sans aucun soucis de la pérennité des ressources. La région Anôsy avec l'appui de l'USAID a, en 2007, développé la Stratégie Energie Domestique de la Région Anôsy (SEDRA).

1 Plus pour les ménages ruraux.

2 Les faibles revenus causent une dépendance presque totale sur l'usage des ressources locales de l'énergie (JariAla, 2006).

3 Le projet JariAla, financé par l'USAID de 2004 à 2009 a permis, dans la région Anôsy, de développer la SEDRA.

La SEDRA a été élaborée en tenant compte :

- du flux migratoire occasionné par l'implantation du projet d'exploitation de l'Ilménite,
- de l'augmentation des besoins énergétiques en bois-énergie de la ville de Fort-Dauphin dont près de 90% de la population urbaine utilise le charbon de bois pour la cuisson,
- de l'augmentation des pressions sur les ressources naturelles de la région surtout au niveau des forêts sèches d'où provient 60% du charbon de bois consommé à Fort-Dauphin.

Pour assurer sur le long terme la demande en bois énergie, la SEDRA a prévu trois types d'interventions :

- Réduire la demande en combustibles ligneux en utilisant des équipements performants et des combustibles de substitution.
- Augmenter l'offre de combustibles ligneux en améliorant les conditions d'exploitation des ressources forestières et de transformation bois-charbon de bois par le développement de techniques de carbonisation améliorée ; en produisant des briquettes et autres combustibles de substitution.
- Rénover le cadre réglementaire, législatif et fiscal en faveur d'une meilleure gestion de la filière favorisant la pérennisation des ressources

Pour organiser et faciliter la mise en œuvre de la SEDRA, un outil de planification intitulé Plan d'Approvisionnement en Bois-Energie de Fort-Dauphin (PABE-FD) a été élaboré en 2007. Cet outil vise à mettre en place les conditions d'un approvisionnement en combustibles ligneux durable et stable des grands centres urbains de la région Anôsy dont la ville de Fort-Dauphin. Il a pour but de définir l'organisation souhaitable de ce nouvel approvisionnement sur les plans géographiques, techniques et socioéconomiques.

Dans le cadre de l'application de ce PABE, les acteurs locaux et communaux, les administrations au niveau central et régional ont été responsabilisés afin de réaliser les axes de développement arrêtés, thématiques par thématiques, acteurs par acteurs, en conformité avec les orientations de la SEDRA et les textes réglementaires. Le tableau 2 suivant résume les types d'intervention valides lors de l'élaboration du PABE-FD :

Tableau 2 : Interventions prévues par le PABE Fort-Dauphin par axe d'approvisionnement

Interventions \ Axes	RNI2	RNI3	RIP 118
Cible principale	Production de charbon des forêts littorales	Production de charbon en forêt naturelle	Production du charbon dans la Station Forestière de Fanjahira
Localisation	Communes Ampasy Nahampoana, Mandromodomotra, Soanierana	Communes Amboasary, Ankariera, Ranopiso, Sarisambo	Communes Ifarantsa, Isaka Ivondro, Manambaro, Mandiso ; Ankaramena
Objectifs	Filières courtes (charrette, vélo) notamment piétons	Filières motorisées longues (camions, camionnettes)	Filières motorisées courtes ou longues (charrettes, vélos, camionnettes)
Types d'intervention	Amélioration des méthodes de carbonisation et d'abattage des arbres par la formation et le suivi		
	Mise en place d'un dispositif de contrôle forestier décentralisé associant les 11 communes du bassin d'approvisionnement		
	Insertion des concessionnaires privés comme producteurs de charbon	Formalisation de contrats de transfert de gestion dans les formations sèches	Restructuration des contrats de transfert de gestion de la SFF
	Suivi et insertion des produits des nouvelles plantations dans la SEDRA	Insertion des zones de production non transférées mais fortement productrices	Insertion des sites de production ex-CAF / WWF Dette Nature

En 2009, BIONERGELEC reprend le suivi et l'application du PABE après JariAla. Des efforts de planification pour une meilleure organisation de l'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Fort-Dauphin ont été mis en place et le projet BIOENERGELEC a assuré, en collaboration avec l'administration chargée des forêts et la région, le suivi de l'application des recommandations du PABE. Ce travail de suivi a été associé aux travaux préalables à l'installation de la centrale thermoélectrique de la commune d'Ifarantsa notamment par l'exploitation au travers des contrats de transfert de gestion de la forêt plantée de la Fanjahira.

Résultats obtenus

FORMATION EN TECHNIQUE DE CARBONISATION : UNE POSSIBILITÉ POUR FAIRE ACCEPTER AUX CONSOMMATEURS LE CHARBON DE BOIS PRODUIT AVEC LE BOIS D'EUCALYPTUS

En 2008, avec l'appui du projet JariAla environ 1000 charbonniers ont été formés en technique améliorée de carbonisation (TAC). Le type de meule améliorée vulgarisée auprès des charbonniers permet d'augmenter le rendement de la carbonisation à plus de 15% (soit 1 kg de charbon de bois pour 7 kg de bois) contrairement aux 10% (1 kg de charbon pour 10 kg de bois) obtenus par la meule traditionnelle. Ces formations ont été données par 29 formateurs-paysans (*Ramose Saribao*) en collaboration avec le FOFIFA⁴ dans la Station forestière de Fanjahira et dans la commune d'Ankariera.

Des entretiens ont été conduits auprès de revendeurs et de ménages consommateurs afin d'obtenir leurs appréciations sur la qualité du charbon de bois d'Eucalyptus avant et après la réalisation des formations en TAC. Il s'avère qu'en plus du gain de rendement qui permet une réduction de la superficie exploitée pour la même quantité de charbon de bois produite, une amélioration de la qualité du charbon de bois produit est notée. Avant la diffusion de la TAC, un sac de charbon produit avec le bois d'Eucalyptus se vendait moins cher et plus difficilement qu'un sac de charbon arrivant de l'axe RN13 et de la zone de forêt naturelle *Ala Maiky* (axe RN13). Après ces formations en TAC, les revendeurs de charbon de bois sur le marché de Fort-Dauphin ont affirmé que le consommateur ne demande plus l'origine du sac de charbon et qu'ils pouvaient donc revendre les sacs de charbon au même prix peu importe leur provenance.

Avec la mise en place, en 2011, d'un système de taxation différenciée entre le charbon en provenance des *Ala Maiky* et celui en provenance des «forêts plantées», on note une augmentation rapide de la production du charbon de bois qui approvisionne la ville de Fort-Dauphin à partir des forêts de plantation notamment de la Fanjahira. Le tableau 3 suivant donne une estimation de la proportion par axe du charbon de bois approvisionnant la ville de Fort-Dauphin à partir de la mise en œuvre du PABE et de ce nouveau système de taxation en 2011.

Tableau 3 : Répartition par axe de l'origine du charbon de bois approvisionnant la ville de Fort-Dauphin

Axe	%
RN13	19%
RN12A	16%
RIP118	64%
Total	100%

Source : Enquête trafic BIOENERGELEC, novembre 2011

Par rapport à la situation de 2006, l'enquête a permis de constater une diminution d'environ 17% du flux de charbon arrivant par l'axe RN13. Celui provenant de l'axe RIP 118, constitué de charbon produit par l'exploitation de la forêt de la station de Fanjahira, a par contre augmenté de 39%. Ceci confirme bien la diminution de la production de bois de charbon à partir des forêts naturelles *Ala Maiky* au profit de la production à partir des forêts de plantation. Ceci permet d'affirmer que, à terme, si les règles sylvicoles d'exploitation de la plantation de Fanjahira étaient respectées, une diminution de la pression sur les forêts naturelles sèches du district d'Ambosary serait effective.

PRODUCTEURS PRIVÉS : PRÉFÉRENCE À D'AUTRES PRODUITS PLUS RENTABLES À LA PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS

Malgré l'existence d'une vaste superficie de plantations d'Eucalyptus estimée 3 850 ha autour de la ville de Fort-Dauphin (Sibomana, 2006), seuls sept producteurs de charbon de bois privés ont été identifiés. Dans le cadre de la mise en œuvre de la SEDRA, le projet JariAla avait proposé l'élaboration gratuite d'un plan d'aménagement et de gestion pour inciter les propriétaires de plantation à produire du charbon de bois. Cette mesure incitative n'a pas obtenu l'impact escompté puisque les propriétaires ont préféré la production d'autres types de produits (planches, madriers...) qu'ils jugent plus rentable.

4 Sur la base des acquis techniques et méthodologiques issus du projet CARAMCODEC (Carbonisation améliorée et contrôle forestier décentralisé).

LES COMMUNAUTÉS LOCALES DE BASE (COBA) : UN CADRE LÉGAL DE PRODUCTION INSUFFISANT POUR SATISFAIRE LES BESOINS DES CONSOMMATEURS URBAINS DE FORT-DAUPHIN

Pour lutter contre toutes les formes illégales de production de la zone SEDRA, l'élaboration d'un cadre règlementé de production qui favorise la gestion durable avait été prévu par la SEDRA.

En application de la loi 96-025 de septembre 1996 relative au transfert de gestion des ressources naturelles renouvelables de l'Etat aux populations riveraines, la production de charbon de bois a d'abord été intégrée à des contrats de transfert de gestion pour l'exploitation de la forêt classée de la Fanjahira et les sites dits ex-Chantiers d'aménagement forestier (ex-CAF), ou encore, confiée à des producteurs privés propriétaires de massifs ou de bosquets d'Eucalyptus dont les surfaces sont importantes dans le bassin d'approvisionnement de Fort-Dauphin. Les Plans d'aménagement et de gestion simplifiés (PAGS) de la Fanjahira ont été aussi révisés au profit des bûcherons-charbonniers. De nouveaux contrats de transfert de gestion ont été mis en place dans la zone de forêt naturelle *Ala Maiky*. Une production dite « tolérée » dans les sites d'exploitation illégaux des forêts naturelles *Ala Maiky* a été définie par un système de quotas annuels de production pour chaque COBA en fonction de la capacité de production de la ressource qui est calculée à partir de la possibilité annuelle de la formation forestière retenue.

Comparée au besoin annuel en charbon de bois de la ville de Fort-Dauphin évalué en 2006 à environ 430 000 sacs de 15 kg soit 6 450 tonnes, la quantité annuelle autorisée pour l'ensemble des COBA de la SFF, ex-CAF et *Ala Maiky* n'en représente que 26 %.

La mise en place de prélèvements fiscaux sur les flux de produits issus des COBA ou des propriétaires privés, nécessaires pour assurer la prise en charge hors projet des coûts de contrôle, allait laisser une part non négligeable de la production, en particulier celle des sites *Ala Maiky* être commercialisée « hors taxe » à Fort-Dauphin. Les sites de production des COBA ou Privés sous aménagement n'auraient pas pu commercialiser leur production du fait du différentiel de prix lié à la taxe subie.

Il était important que cette production illégale *Ala Maiky* ne bénéficie plus d'un avantage de prix et ne concurrence la production légale des COBA ou des Privés. C'est pour cette raison qu'une autre forme de cadre légal de production appelé « production tolérée » a été instauré dans le cadre de la mise en œuvre de la SEDRA. Elle représente environ 30% du besoin en charbon de bois de la ville de Fort-dauphin. Cette mesure a permis d'augmenter jusqu'à 60% la proportion estimative de la production de charbon de bois légale aux niveaux des bassins d'approvisionnement de cette zone soit celle en provenance des COBA de la SFF ou des formations ex-CAF et celle dite « tolérée ». Comme cette dernière représente près de 50% du quota annuel, on mesure son importance.

En résumé, le système de quotas insuffisant par rapport au besoin réel et la mise en place du CFD sont discutables puisque favorisent de facto les exploitations illégales au lieu de les prévenir. La loi exige que toute exploitation respecte le principe des PAGS et autres cahiers des charges mais si les administrations forestières n'ont pas les moyens d'assumer leur responsabilité et que le système mis en place ne facilite pas un réel suivi/contrôle des conditions d'exploitation, l'objectif d'assurer l'approvisionnement en bois énergie tout en diminuant la pression sur les forêts naturelles est compromis.

Tableau 4 : Quota annuel de production (sacs de 15 kg) pour l'approvisionnement de Fort-Dauphin

Producteur	Quota annuel de production
COBA Station Forestière Fanjahira	45 000
COBA ex- Chantiers d'Aménagement Forestier	21600
COBA Ala Maiky	45 000
Propriétaire Privé Forêt Naturelle (Ala Maiky)	2 400
Propriétaire Privé Forêts Plantées	18 360
Production Tolérée (initialement illégale)	125400
TOTAL	257 760

Source : Bioenergelec 2009.

ORGANISATION DU CONTRÔLE FORESTIER DÉCENTRALISÉ (CFD) DANS LE CADRE DE LA SEDRA : UN INSTRUMENT ADÉQUAT NÉCESSITANT UNE BONNE GESTION ET UN SUIVI RIGoureux

Le système CFD

La fourniture de bois énergie provient en grande partie des exploitations illicites. Ainsi, ces pratiques, d'une grande ampleur et non soucieuses du long terme, s'effectuent dans leur grande majorité hors de tout contrôle légal. Des milliers d'acteurs y sont impliqués. Et de sa faible capacité d'intervention et de coordination, l'administration forestière ne peut plus s'exercer normalement en matière de suivi et contrôle forestier. Ces constats rendaient nécessaires la mise en place d'un système de contrôle forestier décentralisé pour améliorer la gestion de l'approvisionnement du charbon de bois dans la région en responsabilisant les autorités locales et les autres acteurs concernés et surtout en leur donnant la possibilité d'en avoir les moyens financiers (et donc humains).

Un dispositif de contrôle forestier décentralisé (CFD) associant l'administration forestière, la commune et le producteur COBA (privé) a été alors mis en place afin de s'assurer du respect des dits quotas (cf. tableau 4).

Encadré 1 : Le système de Contrôle Forestier Décentralisé de la SEDRA Régions Anôsy

La base de ce système a été la création d'une association des 14 communes rurales concernées par l'exploitation forestière, la production de charbon de bois et sa commercialisation à Fort-Dauphin. Cette association des communes, dénommée 3FS (Fikambanan'i ny kaominina 14 ho fanaraha-maso ny livezevezeny ny vokatra saribao), est chargée de coordonner et gérer l'ensemble du système CFD. Dans un premier temps, la DREF et le projet a pu arrêter les quotas annuels de production et de commercialisation de charbon de bois issus des six types de producteurs identifiés (cf. tableau 4).

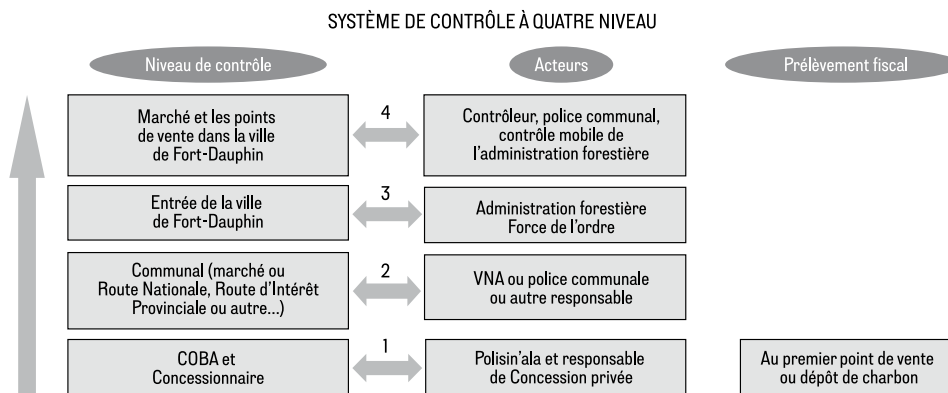
Dans le cadre de la SEDRA, le système CFD a été conçu pour rendre plus efficace la mise en œuvre des axes d'interventions notamment (i) d'augmenter l'offre des combustibles ligneux, par une meilleure gestion des ressources forestières, une carbonisation améliorée et professionnelle, la production de briquettes et d'autres combustibles de substitution et (ii) élaborer un meilleur cadre réglementaire qui favorise les solutions constructives.

Pour qu'il soit opérationnel, des mesures d'accompagnement ont été élaborées. Ses mesures sont : (i) l'identification des acteurs chargés de contrôle à tous les niveaux concernés (fokontany, communes, inter-communes...) et leurs rôles respectifs, (ii) conception et élaboration des outils nécessaires (permis d'exploiter, coupons de transport, différents outils de collecte d'informations...), (iii) définition et répartition des différents droits et taxes ainsi que les modalités de recouvrement. Toutes ces mesures ont fait l'objet d'un protocole d'accord entre les acteurs concernés, appliqué dans la zone d'intervention de la SEDRA.

Ce système doit (i) contribuer à la responsabilisation des acteurs concernés notamment locaux au contrôle de flux à leurs niveaux respectifs, (ii) améliorer le recouvrement des recettes fiscales et (iii) faciliter la collecte et les échanges des informations pour permettre le suivi notamment statistique des flux de charbon de bois.

La conception et la mise en place du CFD était plus délicat dans la mesure où, pour les agents de l'administration forestière, le contrôle forestier est une tâche régaliennne de l'Etat et donc de ses agents administratifs. Il leur est difficile d'accepter le principe même d'une délégation de pouvoir de contrôle à des agents non fonctionnaires.

Figure 1 : Présentation schématique du système CFD SEDRA



Les coupons de transport et la clé de répartition des taxes

L'ensemble des acteurs de la SEDRA, par de nombreuses réunions de travail, ont conçu un outil d'accompagnement du charbon du point d'achat au dépôt en ville. Ce document permet aux agents de

liaison, des communes et de l'administration forestière de vérifier les montants de recettes à collecter auprès des détenteurs de coupons.

Tableau 5 : Taux de prélèvements fiscaux selon l'origine du charbon de bois (en Ariary)

Origine	Frais de gestion COBA ou Fokontany	Ristourne communale	Redevance forestière	Dispositif de contrôle	Fonctionnement Association 3FS	Total
Charbon de forêts naturelles <i>Ala Maiky</i>	200	100	100	90	50	540
Charbon de bois COBA Eucalyptus	166	10	24	90	50	340
Charbon de bois de propriétaires privés	10		90	50		150

1 Ariary = 0,00027 euros (1^{er} novembre 2015)

Lors des actions de contrôle, les sacs de charbon transportés sans coupon sont passibles d'amende. Si le contrôle se fait au niveau de la commune, elle est de 700 Ariary par sac dont 60% pour la caisse de l'association 3FS, 20% pour la commune et 20% pour les agents ayant participé au contrôle.

Au tout début de sa mise en œuvre, soit de décembre 2008 à avril 2009, ce système a permis de passer de zéro à 22% de contrôle effectif des flux de charbon approvisionnant la ville de Fort-Dauphin et Amboasary pendant une période de 5 mois. Les difficultés rencontrées démontrent que le taux de contrôle obtenu n'est pas suffisant pour faire fonctionner le système qui doit être autonome financièrement.

En 2009, l'étude préalable avait montré qu'un taux de contrôle de 60% de la totalité des flux de charbon de bois approvisionnant la ville de Fort-Dauphin soit 258 000 sacs de charbon de bois était nécessaire pour qu'une autonomie financière soit atteinte.

Les résultats des différentes réunions de concertation entre les acteurs concernées ont permis d'identifier les obstacles suivant :

- il est difficile de contrôler la filière piéton (filiale courte) qui ne passe pas sur les routes nationales (ne passe pas au niveau des points de contrôles aux entrées de la ville), qui pratique la vente porte à porte (ne passe pas non plus au marché). Cette filière représente environ 19% de l'approvisionnement de la ville de Fort-Dauphin,

Figure 2 : Evolution du nombre de sacs de charbon contrôlés de décembre 2008 à avril 2009

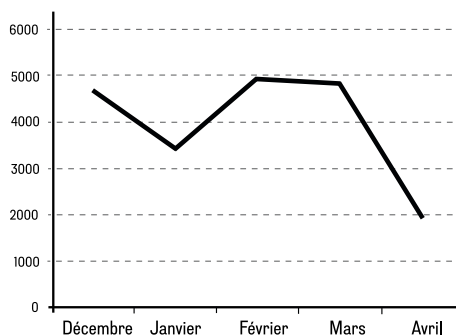


Tableau 6 : Répartition des moyens de transport

Moyen de transport	% nombre de sacs
Charrette	0,13%
Camion	41,90%
Moto	0,02%
Piéton	18,87%
Taxi Brousse	2,05%
Vélo	35,89%
Voiture privée	1,14%
Total	100,00%

Source : Bioenergelec 2012.

- au risque de leur sécurité, sans l'appui des forces de l'ordre, il est difficile pour les agents de contrôle postés aux entrées de la ville de faire le contrôle de nuit alors que la plupart des gros camions roule la nuit. Cette filière longue, qui utilise le camion comme moyen de transport, représente 42% de l'approvisionnement de la ville de Fort-Dauphin.

Pour être plus efficace et autonome sur le plan financier, il faut assurer le meilleur contrôle possible des produits qui utilisent les moyens de transport autres que le piéton. Cette efficacité est conditionnée par une bonne gestion et suivi sérieux du fonctionnement du système de la part de l'association 3FS ainsi qu'une bonne collaboration entre les acteurs concernées notamment avec l'administration forestière et les forces de l'ordre.

ASSOCIATION 3FS : UNE DIFFICILE COLLABORATION ENTRE MEMBRES NOTAMMENT LES MAIRES DANS UN CADRE TROP VOLONTAIRE

Pour responsabiliser les acteurs locaux, notamment les communes et ses agents, dans la gestion de flux de charbon de bois à l'échelle intercommunale, une structure regroupant les quatorze communes concernées a été mise en place. Cette structure a été chargée d'effectuer le contrôle de flux notamment aux entrées des villes de Fort-Dauphin et d'Amboasary et d'y faire les prélèvements fiscaux correspondants. Pour ce faire, elle dispose de ses propres agents dont des agents de liaison qui sont chargés d'assurer la communication entre les producteurs, les agents de contrôle, les communes concernées et les membres du bureau l'association 3FS. Cette association doit assurer la collecte des fonds nécessaires au bon fonctionnement du CFD dans le cadre de SEDRA mais a rencontré des difficultés pour remplir sa mission.

Encadré 2 : Association 3 FS

Créée en juillet 2007 l'association 3FS ou « Fikambanan'ny kaominina 14 ho fanaraha-maso ny fivezivezen'ny vokatra saribao » est une association à but non lucratif régit par l'ordonnance 60-133 du 5 octobre 1960. Elle regroupe 14 communes, un représentant des COBA ou Kasti, un représentant des propriétaires privés de plantations d'Eucalyptus, un représentant des opérateurs économiques, un représentant des présidents des conseillers et représentant des Présidents CCD.

L'Association 3FS est structurée en (i) une Assemblée Générale de tous les membres et (ii) un Bureau. Ce bureau est composé d'un (ou une) président (e) Maire, un(e) vice-président(e) Maire, un(e) secrétaire, un(e) secrétaire adjoint, un(e) trésorier(e), un(e) trésorier(e) adjoint, deux COBA de la zone Forêt Plantée, deux COBA de la zone des Ala Maiky, deux opérateurs, deux présidents conseillers, deux commissaires aux comptes, les conseillers. Les maires qui ne sont pas élus pour un poste du Bureau seront automatiquement conseillers. Selon l'article 4 de son statut, elle a pour objectif de mettre en place le contrôle des flux du charbon de bois et l'organisation des prélèvements fiscaux au niveau des communes membres. Cette association donnerait dès lors un cadre légal à ces prélèvements et donc au CFD.

Cette association n'a pu exercer ses activités dans le cadre de la mise en œuvre de la SEDRA qu'à partir de décembre 2008. Une autorisation provisoire émanant de la DGF, suite à une demande du Chef de la Région Anôsy a levé les derniers obstacles. Pour mener à bien ses activités notamment celles liées à la mise en œuvre du CFD mis en place dans le cadre de la SEDRA, elle emploie à ses propres frais des agents communaux. Ils sont au nombre de sept (7) soit : trois (3) agents de liaison, quatre (4) agents pour les deux points de contrôle.

Il a été possible, sur une période de près de deux ans, de faire le relevé des recettes fiscales induites par la mise en œuvre du CFD, dans le cadre de l'association 3FS.

**Tableau 7 : Recettes fiscales générées par la SEDRA pour la période du juin 2009 à septembre 2011 (en ariary)
(versements des agents de liaison)**

Origine	Association 3FS	Communes	DREF
Agent de Liaison Amboasary	5 918 360	3 915 550	3 751 400
Agent de Liaison Ankaramena	5 099 590	494 610	588 020
Poste de contrôle Bezavona	485 100	97 020	0
Poste de contrôle Mangarivotra	3 535 450	707 090	0
SOUS-TOTAL	15 038 500	5 214 270	339 420
		20 592 190	

Source : Relevés du projet BIOENERGELEC auprès des agents de liaison et de la 1^{ère} trésorière de l'association 3FS

Les charges de fonctionnement de l'association 3FS, soit les salaires et les déplacements de ses agents de contrôle, sont de l'ordre de 1 500 000 Ar par mois. La somme totale perçue de 15 038 500 Ar ne couvre que dix (10) mois des 29 de la période prévue (de juin 2009 à septembre 2011). A ce rythme de recouvrement fiscal, il est difficile pour l'association 3FS de fonctionner normalement.

Un autre facteur nuit au bon fonctionnement du système et concerne la corruption des responsables en charge des recouvrements et de la redistribution des fonds. À titre d'exemple, dès le début de la mise en place du système (en juin 2009), des dysfonctionnements ont été relevés : retards de paiement des indemnités des agents de contrôle, indisponibilité des carnets de reçus paraphés par le Président de

l'association pour le paiement des amendes au niveau des postes de contrôle (PC), et surtout le non-paiement des indemnités dues aux forces de l'ordre. On relève aussi l'absence de collaboration de la part du Maire ou du trésorier dans l'accomplissement des tâches prévues pour la mise en œuvre de la SEDRA.

Sur le plan organisationnel et opérationnel, des commissaires au compte ont été élus au sein du bureau exécutif de la 3FS. Ces derniers ont pour mission de veiller au respect des procédures d'utilisation des fonds générés par le système fiscal local convenu. Or, cet organe de veille ne s'est jamais manifesté. L'absence de mesures coercitives à l'encontre des personnes occupant des postes clés au sein des structures locales mises en place et qui ont failli à leur mission a engendré une démotivation généralisée. Les procédures convenues relatives à la bonne marche de l'utilisation des fonds (rapporpage, utilisation des coupons, transparence...) n'ont plus alors été respectées.

Cette situation démontre, en partie, le laxisme des responsables de cette association et surtout la difficulté pour ses membres d'«oser» sanctionner les cas de détournement de fonds constatés.

Sur le plan juridique, en tant que structure garante du bon fonctionnement des dispositifs de contrôle mis en place, l'association des communes doit avoir une ressource pérenne pour être à même d'assurer cette fonction. Toutefois son statut actuel ne lui permet pas d'exercer cette tâche. Il faut mentionner qu'une simple association régie par l'ordonnance 60-133 ne peut pas assumer une telle charge puisque ses compétences sont limitées aux objectifs initiaux qui sont ceux de la SEDRA.

Concernant les dispositions financières, au moment de la création de la 3FS, les membres (les communes) ne devaient pas cotiser. Aucune évolution n'a été constatée à ce niveau ce qui rend impossible une gestion financière plus poussée. En tant que membres, les communes se contentent du versement des ristournes prélevées. De plus, elles ne sont pas efficaces dans la mise en œuvre des actions de contrôle et gèrent mal les revenus provenant des actions de contrôle et revenus fiscaux.

La gestion financière de l'association 3FS n'est pas non plus transparente. Lors du contrôle de ses activités, il a été relevé d'une part que du fait de son statut d'association régie par la loi 60-133, elle n'a pas de structure de contrôle performante. Mais d'autre part, on a relevé des cas de malversation et de détournement de fonds, de non versements des taxes par les agents de la 3FS, etc.

Pourtant dans le cadre institutionnel de l'ordonnance 60-133, aucun droit de regard n'est permis au District qui de facto n'est donc pas autorisé à contrôler les comptes de l'association 3FS.

Dans la mesure où la structuration du dispositif qui prévoit des prélèvements fiscaux au passage des transporteurs pour la prise en charge des coûts de contrôle en entrée de la ville paraissait correcte, il était alors question de revoir le cadre légal «porteur». La solution proposée fut de faire évoluer l'association 3FS vers un Organisme Public de Coopération Intercommunale (OPCI). Cette structure autorise une implication plus poussée des autorités (District et Région) dans la mise en œuvre de la SEDRA mais aussi dans le contrôle de sa gestion financière. Le renforcement des procédures de gestion des finances de l'association devenue OPCI est, comme l'a exprimé le trésorier, «une alternative pour réduire tout risque de détournement de fonds des responsables de l'association 3FS».

Encadré 3 : Qu'est-ce qu'un OPCI ?

Régis par le décret 99-952 du 15 décembre 1999, les Organismes Publics de Coopération Intercommunale (OPCI) sont des Collectivités Territoriales Décentralisées regroupant plusieurs communes auxquelles celles-ci délèguent leurs compétences. Les OPCI, de par leurs compétences, sont d'une part des acteurs privilégiés de l'application de la politique de décentralisation du pays et d'autre part, bien ancrés dans le paysage institutionnel prévalant et organisés en conséquence pour s'y impliquer. Ils sont plus à même que des communes rurales encore bien isolées pour initier des coopérations décentralisées.

La pérennisation du dispositif de contrôle des flux de produits forestiers comme le charbon de bois dépend du respect intégral des règles adoptées d'accord parties. Elle ne doit pas dépendre des alternances d'ordre politique au niveau des communes ou de la région. Son intégration dans un cadre réglementaire clair qui oblige les acteurs à s'y conformer s'avère être la meilleure solution. C'est pour éviter ou à tout le moins limiter ces risques qu'à été initié le changement de statut de l'association 3FS en OPCI.

OPCI : UNE ORGANISATION LÉGALE ET ADAPTABLE À LA GOUVERNANCE INTERCOMMUNALE DE LA FILIÈRE CHARBON DE BOIS

Face à l'augmentation de la demande de charbon de bois, le recours à cette forme de regroupement des communes constitue un élément clé pour la Région et l'Administration Forestière dans la mesure où il offre des opportunités techniques et organisationnelles viables pour la gestion durable des ressources naturelles.

En effet, les dispositions prévues par le texte en vigueur en matière de création des OPCI, par son organe délibératif, lui donnent plus de marges de manœuvre quant à l'affectation de ses fonds, dont ceux alloués aux activités liées à la planification de la gestion durable des ressources et au fonctionnement du système de contrôle. Le choix de ce cadre d'intervention, avec toutes les mesures administratives, techniques et financières qui vont être mis en place, mais de même que le contrôle strict effectué par les représentants de l'Etat, va permettre :

- à l'administration régionale de maîtriser la filière en attendant son assainissement total, car les marchés, avec ou sans ces dispositions continueront à être approvisionnés. Le charbon de bois étant devenu un produit de première nécessité (PPN) ;
- à une meilleure responsabilisation des communes membres dans la gestion des ressources.

Ainsi, une redynamisation de la structure de mise en œuvre de la SEDRA a été réalisée par le basculement du statut de l'association 3FS vers celui d'un OPCI. Ce dernier est appelé : l'OPCI M-arina : *Miaro ny Arina Raitra Ifotoran'ny Aramaso* (Protection des ressources pour la production de charbon légal).

Pourquoi le choix de l'OPCI ?

Le décret n° 99-952 du 15 décembre 1999 offre une grande latitude de manœuvre pour l'OPCI au niveau :

- de la représentation : l'OPCI est plus représentatif qu'une simple association et permet une plus grande implication des membres ;
- des compétences qui sont plus élargies que celles de l'association ;
- des dispositions financières qui lui permettent de diversifier ses ressources financières ;
- de la transparence dans la gestion puisque le District a un droit de regard sur le contrôle et le suivi de la gestion des fonds de l'OPCI.

Représentation

L'OPCI est, légalement, la seule possibilité qui permet aux communes de se fédérer par rapport à des intérêts communs. La filière charbon de bois en est un. L'enjeu premier est celui de la gestion des recettes liées à la fiscalité. Par rapport à cette difficulté supposée, les textes sont explicites.

Le conseil est représentatif puisque chaque commune est représentée par des délégués : « *L'organisme public de coopération intercommunale est administré par un conseil composé de délégués des communes adhérentes* ». Article 7 du décret n° 99-952 du 15 décembre 1999. L'OPCI dispose d'un organe délibérateur qui joue le rôle de conseil d'administration. Il permet dès lors une plus grande implication des membres dans la budgétisation et le suivi du fonctionnement de la structure. Tous ces éléments permettent une plus grande efficacité.

Compétences

L'OPCI a, à priori, une activité orientée vers le seul produit charbon de bois, en particulier pour assurer le contrôle des flux communaux et inter-communaux par la prise en charge des prélèvements fiscaux et leur utilisation. Néanmoins, son conseil dispose de compétences plus élargies que celles de l'association. Cela lui permet de :

- programmer des projets d'investissement liés à son objectif :
 - recherche de partenariats susceptibles de répondre aux intérêts communs des communes membres,
 - extension du périmètre de reboisement : en investissant dans des plantations de type industriel et/ou semi-industriel de forêts à vocation énergétique en priorisant les espèces à croissance rapide.

- penser à étendre les axes d'intervention de l'OPCI sur la gestion des ressources naturelles renouvelables en général, telles que le bois (de chauffe et d'œuvre) mais pas uniquement sur le charbon de bois ;
- penser à une professionnalisation des opérateurs à la base : par la mise en place d'une association des collecteurs et des charbonniers à la base.

Dispositions financières

Outre les cotisations obligatoires des membres, l'OPCI peut disposer de diverses sources de revenus comme le lui permet l'article 29 du décret n° 99-952 du 15 décembre 1999. Ses principales sources de financement sont :

- Ressources de fonctionnement :
 - Cotisations communales,
 - Redevances sur les services extra.
- Ressources des investissements :
 - Partenariat avec différents bailleurs ou institutions étrangères.

Les Maires, informés au début de la constitution de l'OPCI, sont informés de toutes ces procédures et l'essentiel des dépenses engagées par les associations, dès sa mise en place, concerne le fonctionnement.

Droit de regard du District

La commune qui abrite le siège est responsable de la trésorerie. Le District se verra confier le contrôle de légalité des comptes de l'OPCI.

Conclusion

Le contexte politique dans lequel Madagascar est, et a été depuis quelques décennies, a favorisé un laxisme de la part des élus locaux dans l'accomplissement de leurs missions, sans parler des problèmes généralisés de corruption. Ce qui ne facilite pas la tâche aux responsables de la 3FS pour faire fonctionner son organe de contrôle. Au vue des résultats obtenus concernant le CFD, l'autonomie financière est encore très fragile voir insuffisante. La mise en œuvre de la SEDRA demande beaucoup de rigueur et de disponibilité de la part des acteurs locaux et il s'avère difficile pour les Maires de collaborer et d'accomplir leur double fonctions de responsable de l'association 3FS et de Maire.

Le système semble fonctionner au ralenti actuellement. Sa pérennité reste incertaine si la mise en route de l'OPCI M-Arina, véritable solution pérenne pour la stabilité de l'association des maires, tarde à se concrétiser. Les acteurs chargés du contrôle à la base doivent être remobilisés et être les plus efficaces possibles car ils ont beaucoup contribué aux succès obtenus durant les premiers mois de la mise en œuvre du système en 2009.

Bibliographie

Rasolofo R., Ravoninjatovo A., Andriatsimisetra D., Sibomana J-M. 2005. Etude du Secteur Energie dans la ville de Toalagnaro et dans la Région de l'Anosy. Région Anosy. 2005. Stratégie bois énergie Région Anôsy.

Montagne P., Sibomana JM-V, Rasamindisa A., Razafimahatratra S. 2007. Appui à la CIREEF Anosy et formulation du Plan d'Approvisionnement en Bois-Energie de la ville de Fort-Dauphin. Rapport final. International resources group (IRG). CIRAD, FOFIFA et ONG PARTAGE Contrat USAID n° 687-c-00-04-00155-00. 67 p.

Ratsisetraina Z-M. 2011 à 2014. Rapport d'activités. Cellule opérationnelle Bioenergelec ONG PARTAGE Région Anosy

Montagne P., 2010. Appui à la mise en œuvre de la stratégie énergie domestique de la région Anosy. Rapports finaux # 1, 2, 3, 4. International resources group (IRG). CIRAD, FOFIFA et ONG PARTAGE Contrat USAID n° 687-C-00-04-00155-00. 39 p.

Montagne P. (ed.), Razafimahatratra S. (ed.), Rasamindisa A. (ed.), Crehay R. (ed.). 2010. Arina, le charbon de bois à Madagascar : entre demande urbaine et gestion durable. Antananarivo : CITE, 187 p.

Montagne P. (ed.), Razanamaharo Z. (ed.), Cooke A. (ed.). 2007. Le transfert de gestion à Madagascar, dix ans d'efforts : Tanteza (tantanana mba hateza : gestion durable). Montpellier : CIRAD, 207 p.

L'Électrification Rurale Décentralisée biomasse vapeur : Quelles conclusions et recommandations ?

Pierre MONTAGNE,
Mamisoa RAKOTOARIMANANA,
Hary ANDRIANTAVY

Introduction

L'Électrification Rurale Décentralisée par combustion de biomasse et moteur à vapeur : quelles conclusions et recommandations tirer de l'expérience réalisée à Madagascar par les projets GESFORCOM et BIOENERGELEC ?

L'Électrification Rurale Décentralisée est, eu égard aux difficultés physiques et humaines à surmonter, un grand enjeu pour ce vaste continent qu'est l'Afrique. À Madagascar de façon particulière, pays grand comme la France, la Belgique et les Pays-Bas, les enjeux sont cruciaux en termes de développement socioéconomique de régions entières qui sont condamnées à un éclairage à la bougie encore pendant de longues années si on ne parvient pas à surmonter ces difficultés.

Nous avons vu dans l'article introductif que l'initiative de l'Union Européenne de 2005 avait des objectifs ambitieux qui devaient permettre, à l'échelle de ce continent et de Madagascar, de les surmonter. En 2007, près de 75 projets furent déclarés destinataires des fonds de la Facilité Energie 1 pour un montant total de 198 millions d'euros. À Madagascar, 7 propositions avaient été, en juillet 2007, sélectionnées dont 4 pour des propositions ERD à partir d'énergie hydraulique, une d'énergie solaire et une à partir de biomasse, celle du CIRAD et de ses partenaires ADER, FOFIFA et PARTAGE. Cette répartition des propositions et des choix faits par le comité de sélection de l'UE entre plusieurs axes technologiques où il ne manquerait, en référence aux possibilités présentées dans l'article 1 que l'énergie éolienne ou le biogaz et bien sûr le thermique déjà largement développé à Madagascar. Nous ne rentrerons pas, ici, dans une analyse détaillée des résultats obtenus par chacun de ces projets sur lesquels nous ne disposons pas d'information. Il s'agira donc de se concentrer sur les conclusions et recommandations qu'il est possible de tirer de l'expérience d'ERD portée par le projet BIOENERGELEC.

Nous avons déjà largement exposé et détaillé les choix faits tant en ce qui concerne la technologie « combustion de biomasse pour la production de vapeur alimentant un moteur qui entraîne un alternateur » que les conditions de fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement en biomasse notamment ligneuse, les modalités de choix des communes eu égard aux exigences en termes de disponibilité en eau ou en biomasse ligneuse ou en déchets agricoles et enfin d'impact de cette ERD sur la pauvreté de ces populations isolées.

Conclusions générales de l'expérience BIOENERGELEC

RÉSULTATS OBTENUS

Six communes avaient initialement été ciblées par la proposition mais seulement deux ont pu être équipées après plusieurs années d'efforts (soit de 2008 à 2015). La commune d'Ambohijanahary avait été supprimée dès le début du projet du fait que la puissance permise par la technologie biomasse vapeur était insuffisante au vu de la demande pré-existante. La commune d'Ifarantsa avait également été supprimée du fait que la destruction par un cyclone de la forêt plantée de la Fanjahira. Quatre communes auraient alors dû être équipées à la fin du projet dont une dans les régions Boeny (Manerinerina) et Alaotra-Mangoro (Didy) et deux dans la région Haute Matsiatra (Mahaditra et Befeta). Comme déjà explicité dans l'article 0, pour des raisons liées à la défaillance du fournisseur des matériels ERD, seules les installations des deux premières communes ont été achevées et sont fonctionnelles à fin 2015.

Entre septembre 2012 et décembre 2015, soit en, un peu plus de 3 ans, trois sites auront été électrifiés par de l'ERD biomasse vapeur. Pour ces trois sites, la technologie foyer + chaudière + moteur à vapeur + génératrice a été, comme il a été montré à l'article 2, utilisée.

Dès la première installation à Andaingo (projet GESFORCOM), le moteur a été le maillon faible de l'installation ayant nécessité une importante réparation avec un remplacement du piston et d'autres pièces endommagées. La panne avait été occasionnée par un manque de réactivité de l'agent de l'opérateur BETC. L'opérateur n'a pas fermé suffisamment vite la vanne d'admission vapeur après une augmentation ponctuelle de puissance pour le sciage d'une grume. Le moteur s'est emballé entraînant la casse d'un certain nombre de pièces. Ces pièces défectueuses furent changées par le fabricant brésilien et l'installation redémarré dès le mois de juillet 2013, même si des difficultés liées d'une part à des conséquences de la première panne mais aussi à l'apprentissage de l'utilisation de l'installation persistent. L'installation est maintenant pleinement fonctionnelle, aucun problème n'a été rencontré au niveau du foyer, de la chaudière ou de la génératrice.

À Manerinerina, l'installation a été démarrée en mars 2014 et là aussi il a fallu faire face aux difficultés de « jeunesse », comme le montage à l'envers de la pompe à huile qui lubrifie les éléments essentiels du moteur comme les paliers de vilebrequin ou de la bielle. L'opérateur CASIELEC ne s'est rendu compte de cette erreur que plusieurs heures après le démarrage, mais le mal a été fait et les coussinets endommagés. Une mission d'appui de l'équipe PSI, le fabricant brésilien, devait fournir des coussinets de remplacement et apporter des informations relatives à la maintenance de l'installation. À la fin 2015, elle est fonctionnelle.

L'installation de la commune de Didy, démarrée le 12 décembre 2015, n'a pas posé de problème si ce n'est le rodage rapidement traités par l'opérateur SERMAD.

L'expérience des trois sites producteur d'une ERD à partir de biomasse donne satisfaction une fois les étapes de prise en main dépassées. C'est une totale innovation à Madagascar, l'utilisation d'une technologie associant du matériel brésilien et malagasy pour produire une électricité à meilleur coût – environ 50 % d'une ERD thermique à moteur gazoil soit 800 à 900 Ar/kWh (0,3 centimes d'euro). Ces centrales peuvent fonctionner 13 heures par jour, de 10 h du matin à 23 h, tandis que celles à moteurs thermiques ne fonctionnent en général que pendant 3 heures le soir.

Les installations répondent à de vraies demandes en électricité des populations. À Andaingo, ce sont plus de 100 abonnés qui sont recensés après 3 ans, à Manerinerina, CASIELEC en est à 249 (mais après plusieurs années d'ERD thermique) et à Didy, après quelques jours l'on en était à près de 15 abonnés. De la capacité des gestionnaires à faire fonctionner les installations dépend le lancement de la dynamique de production et aussi de l'approvisionnement en biomasse et donc d'insertion dans la chaîne des bûcherons.

Concernant l'approvisionnement en biomasse telle que décrite aux articles 4 et 5, elle fonctionne au mieux de la capacité des gestionnaires à assurer le paiement de la biomasse et de l'administration forestière à surveiller l'exploitation des plantations dont le respect des quotas annuelles de coupe de bois et le paiement des taxes afférentes. Pour rappel, 4 à 500 tonnes par an sont nécessaires soit l'utilisation de 20 à 30 ha de forêts dans les conditions locales, avec une rotation des coupes sur 7 à 10 ans pour une gestion plus rationnelle et plus durable de la forêt. Cette exploitation génère une activité régulière pour une vingtaine de bûcherons et autant de transporteurs.

Les trois installations doivent maintenant « vivre » leur vie sous couvert de la volonté des opérateurs ERD qui sont tenus d'assurer leur maintenance.

LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS: UN POINT TRÈS IMPORTANT À SOULIGNER

Les opérateurs ERD biomasse vapeur, sélectionnés par l'ADER après appels d'offre, sont des sociétés de droit privé où travaillent des ingénieurs électromécaniciens. Ceux-ci, avec l'appui du projet, ont pu, en octobre 2013, bénéficier d'une formation au Brésil où l'équipe brésilienne leur a fourni toutes les informations nécessaires pour la maintenance et la réparation de ce type de moteur qui est nouveau pour les mécaniciens malgaches.

Leurs expériences dans l'entretien des moteurs diesel de camions leur permet d'être pleinement opérationnels pour le moteur vapeur de PSI. De décembre 2012 (date de la première panne à Andaingo) à décembre 2015 (constat que les trois sites sont fonctionnels), on a constaté une nette avancée dans l'appropriation de la technologie et dans la réalisation de l'intérêt même de ce système de production. Il n'y a plus eu les grosses pannes des débuts, on est passée à des pannes « normales » qui sont plus de l'entretien (changement de coussinets, de roulements, niveau d'huile etc.). Il est certain qu'un matériel technologiquement plus complexe n'aurait pas permis d'assurer un même service.

Le savoir-faire technique acquis, la pérennité des installations tient plus à la marge de manœuvre financière des opérateurs. Comme toute entreprise, ils doivent dégager suffisamment de marge sur le chiffre d'affaires pour être à même d'assurer ses charges. À Madagascar, ce sont de petites entreprises qui fonctionnent avec des moyens limités et il leur faut du temps pour « amorcer le système ». À la fin du projet en décembre 2015, cette deuxième étape n'avait pas été atteinte.

Une *task force* maintenance a néanmoins pu être constituée. Elle regroupe les gestionnaires privés BETC (Andaingo), CASIELEC (Manerinerina) et SERMAD (Didy) qui se sont engagés à partager leurs expériences et réseaux de fournisseurs de pièces pour assurer, de manière solidaire, le bon fonctionnement des trois installations. Ce groupement est actif et a déjà permis de nombreux échanges notamment à partir des deux installations les plus anciennes Andaingo et Manerinerina vers celle de Didy. Ce sont ces deux gestionnaires qui ont par exemple pu assurer, sans la présence du fabricant brésilien, la mise en route de l'installation de Didy. C'est un bel exemple de travail et de partage d'expérience à Madagascar.

Le principale difficulté à ce jour est que les techniciens malgaches n'ont pas une solution opérationnelle pour réguler automatiquement l'entrée de la vapeur dans le moteur en fonction de la demande électrique. Les vannes de réglage automatique, fournies par PSI ne sont pas utilisées parce que, d'une part les techniciens brésiliens n'ont pas encore réussi à les fiabiliser, et qu'ils ne peuvent encore former les techniciens des opérateurs. Jusqu'à présent, cette régulation est gérée par de vannes manuelles.

LA QUESTION DE L'APPROVISIONNEMENT EN BIOMASSE

Le deuxième point faible des installations est la difficulté à « mettre en place » le système d'approvisionnement des centrales en biomasse qu'elle soit ligneuse ou bien agricole. Les bûcherons restent habitués à leur production traditionnelle de charbon de bois et doivent changer de production, plus simple pour eux qui ont dès lors moins de travail : ils sont juste astreints à couper et vendre le bois sans devoir carboniser. Ils sont malgré tout tenus de laisser un temps de séchage suffisant condition d'une meilleure combustion dans le foyer et donc de rendement de l'installation. Cet approvisionnement dépend de la capacité des gestionnaires à dégager la trésorerie nécessaire à l'achat du bois dès sa livraison (sec et refendu) à la centrale.

Recommandations

L'expérience acquise par le projet BIOENERGELEC, même insuffisante eu égard aux difficultés liées au fournisseur des équipements, montre la faisabilité de ce type d'installation qui est en mesure de répondre à une demande en ERD, adaptée à une commune de 1000 à 2000 habitants, pour peu que le site dispose d'eau en quantité suffisante tout au long de l'année, que la biomasse ligneuse ou agricole soit également disponible et bien sûr que les populations aient émis le souhait de bénéficier de cet équipement, dans la mesure aussi où l'ADER ait pu arrêter le meilleur choix technologique entre différentes énergies renouvelables solaire (souvent de faible puissance et nécessitant des batteries), hydraulique (intéressant avec le fort potentiel de Madagascar mais qui peut nécessiter des investissements importants en réseaux) ou encore éolien voire biomasse gazogène qui est une alternative au moteur vapeur avec des contraintes de pollution.

Avec ces résultats probants, même s'ils ont été acquis à l'échelle de deux communes seulement, le projet BIOENERGELEC est en mesure de proposer aux responsables des administrations forestières et de l'énergie mais aussi des collectivités territoriales décentralisées des solutions de développement ERD adaptées à leurs situations spécifiques que cela soit en termes de disponibilité en biomasse, en eau et surtout de non-existence d'alternatives ERD autres que celles permises par la solution ensemble foyer + chaudière + moteur vapeur.

Eu égard aux résultats obtenus soit deux sites équipés au lieu des quatre visés et surtout de l'expérience acquise non seulement pour la mise en place des installations qui a permis de mobiliser près d'une vingtaine de techniciens maçons, chaudronniers, électriciens et mécaniciens, une vraie compétence a été développée à Madagascar et les deux sites non équipés devraient pouvoir l'être avec beaucoup plus de facilités grâce à l'expérience acquise.

La principale recommandation sera donc, d'engager très vite la fin des travaux d'installation des deux dernières centrales prévues par le projet BIOENERGELEC dans les communes de Mahaditra et de Befeta (région Haute Matsiatra). Il serait dommage, après élaboration des deux Schémas communaux d'approvisionnement en biomasse et des Plans simples de gestion des formations boisées, il ne soit pas possible de donner aux populations cette électricité qu'elles appellent de leurs vœux. Il n'est plus question, aujourd'hui, après la résiliation du contrat entre l'ADER et le fournisseur, que d'organiser les commandes, livraisons et installations des matériels ERD biomasse et bien sûr d'assurer leurs mises en fonctionnement et suivi.

La deuxième recommandation serait, au vu de l'expérience acquise par le projet BIOENERGELEC de conserver, pour le futur, selon les résultats des travaux d'études préalables conduits par l'ADER, l'option d'ERD biomasse-vapeur comme une des possibilités pour apporter l'électricité dans les foyers ruraux malgaches.

La troisième recommandation serait que les gestionnaires privés d'ERD (BETS, CASIELEC et SERMAD) qui ont donc maintenant une connaissance précise du fonctionnement et de la maintenance des installations poursuivent les activités conduites par la « *task force* maintenance » constituée en septembre 2015 avec l'appui du projet et s'organisent de concert pour assurer l'approvisionnement en pièces détachées et autres besoins en matériels nécessaires aux installations.

La quatrième recommandation serait que l'ADER s'engage pour assurer la diffusion de l'information sur les possibilités offertes par les installations de production ERD biomasse-vapeur à Madagascar par l'utilisation du Guide standard pour demande de financement en électrification rurale décentralisée fondée sur la biomasse édité en décembre 2015 par le projet (Rakotomalala T., Ratsaraefadahy M., 2015).

La cinquième recommandation concernerait le protocole de suivi des impacts de ces centrales. Il touche trois axes soit (i) le suivi technologique, (ii) le suivi sylvicole en cas d'approvisionnement en biomasse ligneuse et (iii) le suivi de la pauvreté. Les modalités du premier sont maintenant bien établies grâce aux efforts du partenaire FOFIFA et devraient continuer à être mises en œuvre. Le suivi opérationnel est à réaliser par les agents de conduite des centrales. Il s'agit de relever les consommations d'eau, de biomasse, d'huile-moteur, de pièces de rechange, et la production totale d'électricité par la centrale. Un compteur dédié au suivi de la consommation de la centrale et de ses auxiliaires permettra de relever l'autoconsommation électrique. Ce sont ces éléments qui, une fois analysés, permettront d'établir les paramètres de rentabilité économique des installations. Concernant le suivi sylvicole, notamment des formations naturelles à *Ziziphus* sp. ou plantées à *Eucalyptus* sp., il doit être assuré par les institutions de recherche ou l'administration forestière qui doit s'assurer que les Plans simples de gestion sont respectés par les bûcherons des groupements d'approvisionnement en biomasse ligneuse. Le suivi d'impact socio-économique notamment sur la pauvreté des populations rurales bénéficiaires de l'ERD se fera dans plusieurs années sur la base du dispositif mis en place en 2009-2010 par le projet (voir article 6).

La dernière recommandation toucherait les conditions de viabilité financière du système. On a vu précédemment que le coût de production de l'électricité est raisonnable par rapport à la solution classique du thermique diesel. Le modèle installé à Manerinerina et à Didy est similaire à celui d'Andaingo ; la production d'électricité est largement suffisante pour créer des unités artisanales alimentées directement à partir de la centrale, l'excédent de vapeur peut être également valorisé. Il faut donc inciter les gestionnaires à créer des unités productives ou à vendre l'énergie à des artisans de la place.

Table des matières

Articles	Titres	Auteurs	Page
	Avant-propos	Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra	5
	Remerciements des coordinateurs scientifiques	Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra	16
	Avertissement des éditeurs	Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra	18
	Préface	Mamisoa Rakotoarimanana	27
Préambule	Le projet BIOENERGELEC	Pierre Montagne	29
Présentation des articles	Présentation des articles de l'ouvrage HAZAVANA	Pierre Montagne	31
Article 1	Atouts et contraintes de l'électrification rurale décentralisée à partir de biomasse à Madagascar	Laurent Gazull, Hary Andriantavy	33
Article 2	Caractéristiques du moteur à vapeur développé par PSI	Alexandre Silveira, Gustavo Pereira, Patrick Rousset, Philippe Girard	43
Article 3	Les communes cibles des équipements ERD : conditions d'approvisionnement en biomasse et eau ; contexte socio-économique pour un développement d'activités économiques et une viabilité des centrales électriques à biomasse	Alain Bertrand, Gilles Chaix, François Pinta, Pierre Montagne Honoré Randrianjafy, Alain Rasamindisa, Norbert Razafindrianilana, Daniel Andriambolanoro	53
Article 4	Approvisionnement en biomasse ligneuse d'une centrale ERD à partir d'un massif à <i>Ziziphus mauritiana</i> : problèmes et questions en suspens	Pierre Lepinay, Pierre Montagne, Norbert Razafindrianilana, Daniel Andriambolanoro, Serge Razafimahatratra, Philippe Deleporte, Régis Peltier	71
Article 5	Disponibilité en bois d' <i>Eucalyptus</i> dans les communes de Didy, Mahaditra et Befeta : Quel aménagement durable pour alimenter des centrales thermoélectriques à biomasse ?	Gilles Chaix, Honoré Andrianjafy, Daniel Andriambolanoro, Tiana Herimiasa, Tsila Rakotomalala, Régis Peltier	77
Article 6	Situation de référence et éléments d'évaluation des effets de l'électrification rurale décentralisée biomasse vapeur	Jean-François Bélières, Daniel Andriambolanoro, Landy Holy Harifera Andriamialiranto, Andoniaina Vatosoa Andriamifidy	87
Article 7	Retour d'expérience sur le fonctionnement des centrales électriques à biomasse sur les sites d'Andaingo, de Didy (région Alaotra-Mangoro) et de Manerinerina (région Boeny)	François Pinta, Daniel Andriambolanoro, Pierre Montagne	113
Article 8	SEDRA, la Stratégie Energie Domestique de la Région Anôsy : Approvisionnement durable en bois énergie des grands centres urbains et gestion durable des ressources par la responsabilisation des acteurs locaux	Serge Razafimahatratra, Zo Mampionona Ratsisetraina, Ndriana Razafindratovo	129
Article 9	L'Électrification Rurale Décentralisée biomasse vapeur : Quelles conclusions et recommandations ?	Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, Hary Andriantavy	139

Liste des ouvrages du Cirad et des supports de communication du projet BIOENERGELEC

Ouvrages de capitalisation des études et projets conduits par le CIRAD et ses partenaires de la recherche et du développement à Madagascar, au Niger et au Mali édités dans de 2007 à 2016 :

- Montagne P. (ed.), Razanamaharo Z. (ed.), Cooke A. (ed.). 2007. *Le transfert de gestion à Madagascar; dix ans d'efforts : Tanteza (tantanana mba hateza : gestion durable)*. Montpellier : CIRAD, 207 p.
- Montagne P. (ed.), Razafimahatratra S. (ed.), Rasamindisa A. (ed.), Crehay R. (ed.). 2010. *Arina, le charbon de bois à Madagascar : entre demande urbaine et gestion durable*. Antananarivo : CITE, 187 p.
- Montagne P. (ed.), Bertrand A. (ed.). 2012. *Kajjala, Tattali, Djekabaara : Valoriser les produits pour mieux conserver les forêts. Tome 1 : Les expériences nationales*. Volume 1, Madagascar. Antananarivo : CITE, 186 p.
- Montagne P. (ed.), Bertrand A. (ed.). 2012. *Kajjala, Tattali, Djekabaara : Valoriser les produits pour mieux conserver les forêts. Tome 1 : Les expériences nationales*. Volume 2, Niger et Mali. Antananarivo : CITE, 229 p.
- Montagne P. (ed.), Rives F. (ed.). 2013. *Kajjala, Tattali, Djekabaara : Valoriser les produits pour mieux conserver les forêts. Tome 2 : Comparaisons Madagascar, Niger et Mali*. Antananarivo : CITE, 219 p.
- Montagne P. (ed.), Razafiaritiana A. (ed.), Razafindrakoto B. (ed.). 2014. *Kijana : Kits et initiatives pour joindre les approches nouvelles et ancestrales pour mieux aménager les forêts*. Antananarivo : CITE, 252 p.

Produits de communication audio-visuels des projets GESFORCOM et BIOENERGELEC :

- Montagne P., 2013. *Hazavana, Film documentaire Electrification rurale décentralisée par combustion de biomasse. Projets BIOENERGELEC et GESFORCOM*. CIRAD. Madagascar. 16 mn 35 s.
- Montagne P., 2015. *Hazavana, Film documentaire Electrification rurale décentralisée par combustion de biomasse*. Projet BIOENERGELEC. Madagascar. 15 mn.

Brochures de vulgarisation des projets GESFORCOM et BIOENERGELEC :

- Montagne P., Pinta F., Randriamanantena L., Razanavahy H., Randrianjafy H., Andriambolanoro D., décembre 2012 : *L'électrification rurale décentralisée par combustion de biomasse : un outil de développement et de lutte contre la pauvreté : l'exemple de la commune rurale d'Andaingo, Madagascar*, Projet GESFORCOM, 12 p.
- Montagne P., Randrianjafy H., Andriambolanoro D., Razafindrililana N., Rasamindisa A., Ratsaraefadahy M., Razafimahatratra S., Andrianjafirimino TH, Rakotomalala T, Ratsisetraina ZM., Rafanomezantsoa R. 2012. *Brochures de présentation des communes d'intervention du projet BIOENERGELEC (Didy, Manerinerina, Ifarantsa, Mahaditra et Befeta)*. 8 p.
- Peltier R., Randrianjafy H., Razafindrililana N., Andriambolanoro D., Chaix G., Molina A., Razafimahatratra S., 2013. *Vade-Mecum des bonnes pratiques d'exploitation du bois de feu à Madagascar, pour l'approvisionnement durable des centrales électriques à biomasse*. CIRAD, FOFIFA et Association PARTAGE. 46 p.
- Rakotomalala T., Ratsaraefadahy M., 2015. *Guide standard pour demande de financement en électrification rurale décentralisée fondée sur la biomasse*. Projet BIOENERGELEC. CIRAD, ADER et Association PARTAGE 28 p.

L'éditeur

L'ONG L'Homme et l'Environnement s'est spécialisée dans le développement durable et la préservation de la biodiversité par l'implication des populations locales défavorisées.

Créée en 1994, elle œuvre sur des zones spécifiques très riches en biodiversité menacée, avec le but de faire la démonstration que la préservation de l'environnement et développement humain peuvent aller de pair.

Les actions de l'ONG couvrent des domaines variés :

- Conservation et valorisation de la biodiversité
- Santé et éducation
- Développement d'activités génératrices de revenus
- Formation selon l'approche genre
- Centre de documentation
- Edition

La présente édition est le fruit de la collaboration étroite entre l'ONG HE et le Cirad depuis une longue date notamment dans le cadre du projet COGESFOR (2009-2013).

ONG l'Homme et l'Environnement

Lot II M 90 Antsakaviro,

Tél. : +261 22 674 90

E-mail : direction@mate.mg

Site web : www.madagascar-environnement.com

Suivi éditorial :

RAZAFIARITIANA Andriamahavonjy (+261 34 09 518 46 – ralhvonjy@gmail.com)

RAJAONARISON Monja Heriniaina (+261 98 073 96 – heriniaina.monja@gmail.com)

Maquette :

Stève Ramiamanantsoa (+261 32 04 111 61 – steveramiara@gmail.com)

Achévé d'imprimer sur les presses de MYE Andohalo, en mars 2016.

Pour le compte des éditions de l'ONG l'Homme et l'environnement

HAZAVANA

Herin'Aratra Vokarina Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra
Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse

Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana, François Pinta et Serge Razafimahatratra, Coordinateurs Scientifiques de cet ouvrage collectif, sont tous quatre intervenus dans le projet BIOENERGELEC.

Pierre Montagne, agro-économiste, est chercheur au sein du département environnements et société du CIRAD. Il est intervenu de 1989 à 2000 au Niger dans le cadre de la mise en place de la stratégie énergie domestique pour organiser l'approvisionnement durable en bois de feu des principales villes du Niger, et de 2000 à 2014 Madagascar dans le cadre de plusieurs opérations de recherche-action pour une meilleure gestion des filières des produits forestiers ligneux et non ligneux et le développement de l'ERD biomasse. Chef de projet BIOENERGELEC pour le CIRAD de 2008 à 2015, il a assuré la coordination de la mise en œuvre de l'ensemble des activités prévues dans l'offre technique du CIRAD et de ses partenaires. Il a, en relation avec l'ADER, veillé à ce que le processus d'attribution du marché de fourniture des équipements ERD biomasse respecte scrupuleusement les règles en vigueur de l'Union Européenne et de l'ADER.

Mamisoa Rakotoarimana est un Ingénieur électromécanicien ayant plus de 28 ans d'expériences dans le domaine de l'énergie à Madagascar. Depuis 2005, il a travaillé à l'ADER en tant que directeur technique chargé de développer les projets d'électrification rurale et assure le poste de Secrétaire Exécutif de l'Agence depuis avril 2015. Outre ses expériences en matière de réglementation du secteur et de la planification dans la filière électrification rurale, il a conduit les opérations de la mise en place de plus de 200 projets à Madagascar.

François Pinta, ingénieur agricole et docteur en sciences du bois, est chercheur au sein du département « Performance des systèmes de transformation (PERSYST) » du CIRAD. Il a démarré son expérience professionnelle en Afrique Centrale comme Adjoint au directeur agricole des plantations de cannes à sucre de la SOGESCA dont les chaudières à biomasse assuraient l'autonomie énergétique du site durant la campagne. Fort de cette expérience et motivé par les énergies renouvelables, il a mis ses compétences au service du CIRAD dès mars 1992. Ses activités ont principalement porté sur l'analyse des projets de production d'électricité et de chaleur en cogénération dans les contextes des pays tropicaux en Afrique et Amérique du Sud. Il a résidé 3 ans en République Centrafricaine et au Cameroun, 8 ans en Guyane et 3 ans au Burkina Faso. Il est également beaucoup intervenu en missions dans de nombreux pays forestiers tropicaux dont : Madagascar, la Côte d'Ivoire, Mali, Brésil, Guyane Française, République Centrafricaine, Gabon, Congo Kinshasa, etc. Ses nombreuses missions d'études et d'expertises effectuées au cours de ses 25 ans de carrière dans le domaine lui ont conféré une grande expérience des contextes rencontrés dans le secteur de la transformation énergétique du bois et de la biomasse dans les pays tropicaux.

Serge Razafimahatratra est socio-organisateur spécialiste des questions de gestion durable des ressources naturelles par leur valorisation. Président-fondateur de l'association PARTAGE (PARTicipation À la Gestion de l'Environnement) en 2000. Il contribue depuis, avec celle-ci, à faire avancer la réflexion du secteur forestier malgache sur la GELOSE et le transfert de gestion des ressources aux communautés de base. Ceci, au travers de la mise en œuvre de divers projets dédiés, notamment le Projet Energie Domestique de Mahajanga, le projet CARbonisation AMéliorée et CONtrôle forestier DECentralisé, le projet GESTion FORestière COMMunale et communautaire, le projet CONservation et GESTion FORestière, le projet PROLEGTRA, le projet TRASFLUBO et bien sur le projet BIOENERGELEC. Il est aujourd'hui responsable du volet d'appui aux communautés du projet Aménagement et Reboisements Intégrés du district d'Anjozorobe en Bois Energie. Toutes ces interventions se sont faites en partenariat étroit avec le CIRAD et le FOFIFA. L'essentiel de son expérience concerne l'appui socio-organisationnel des communautés de base et l'appui institutionnel aux services forestiers dans diverses régions malgaches pour l'instauration d'une co-gestion durable des ressources naturelles.



Les responsables
opérationnels
du projet
BIOENERGELEC :



Pierre Montagne
Chef de projet



Meva Ramanjehimanana
Assistante administrative
et financière