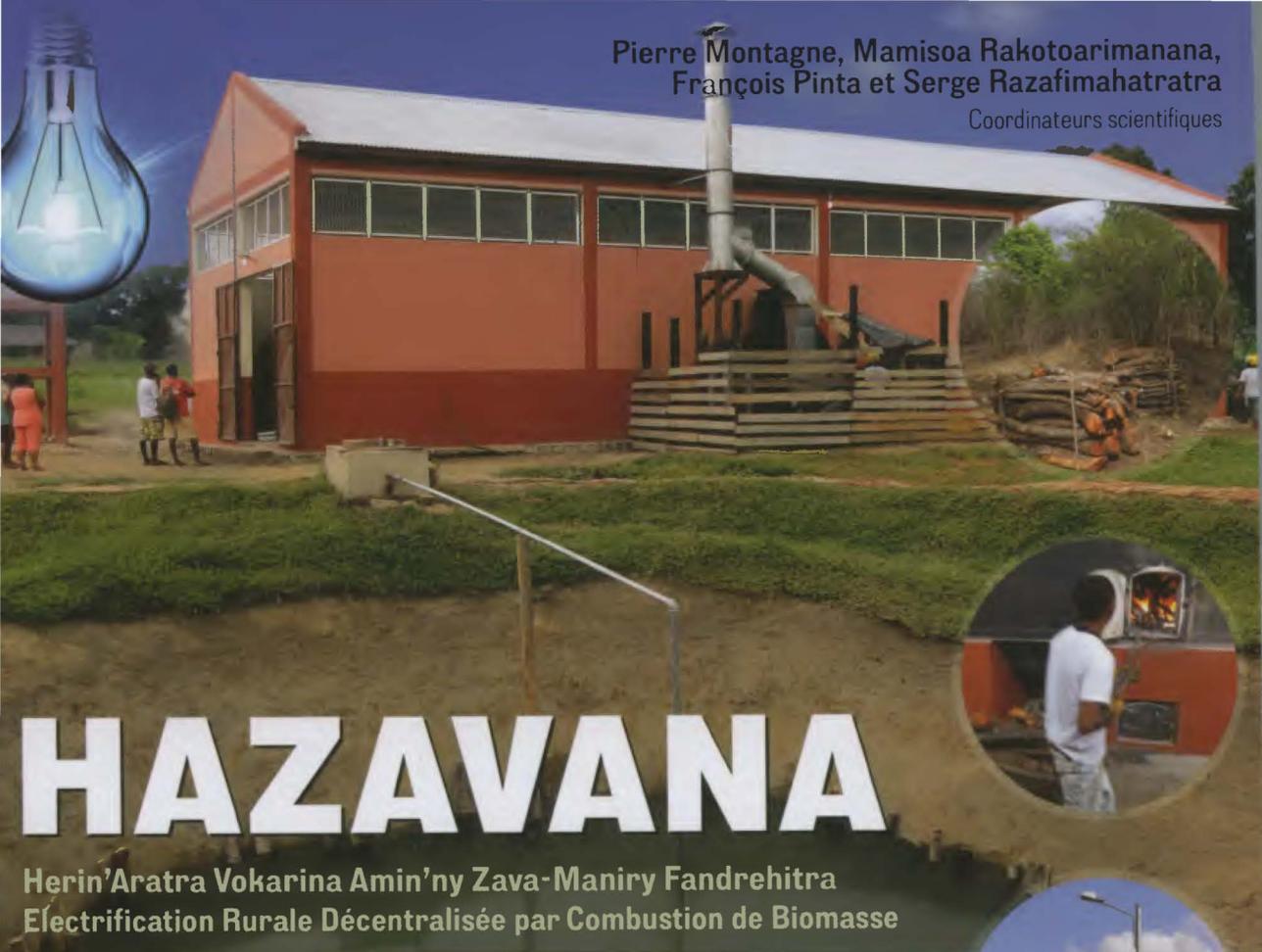


Pierre Montagne, Mamisoa Rakotoarimanana,
François Pinta et Serge Razafimahatratra

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.

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)

Achevé 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 Rakotoarimana, 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



Meyu Ramarimanana
Assistante administrative
et financière

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* (jujubier) (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 jujubiers 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 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 (Prasad et al., 2004), favorisée par l'importance du pâturage des zébus dans ces formations végétales (Cf. Feuillet central, page E, photo 2). Le jujubier 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 jujubier (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'Olonana 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). Faut 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 jujubiers 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 jujubier 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 jujubier qui ont été mesurées.

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

Résultats

SURFACE DES PEUPEMENTS

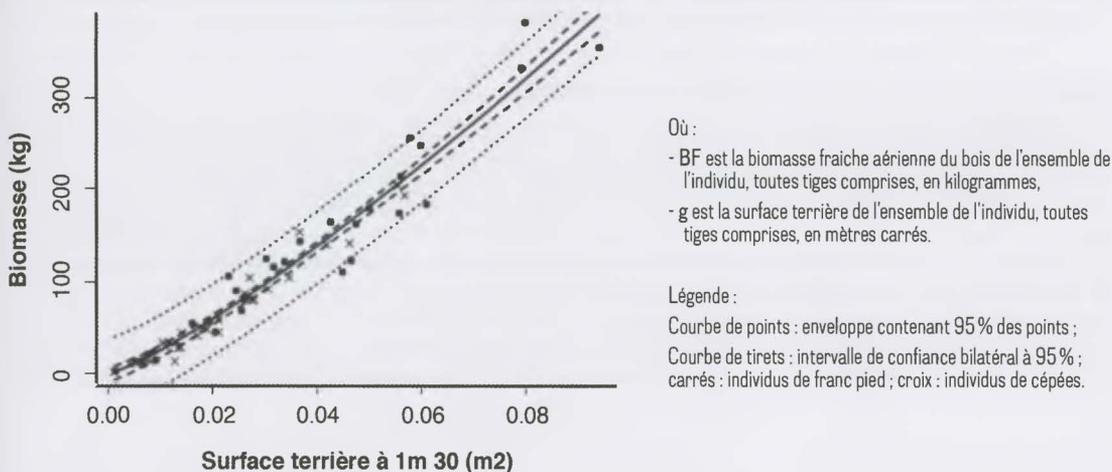
Sur la base des informations disponibles en 2012, la surface des peuplements de jujubier, pris en compte lors de l'étude car jugés suffisamment denses, a été estimée à 600 ha sur le VOI de Bedoa.

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 xylogiques

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 :

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

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 $Tsimaranja$ 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 :

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

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*.

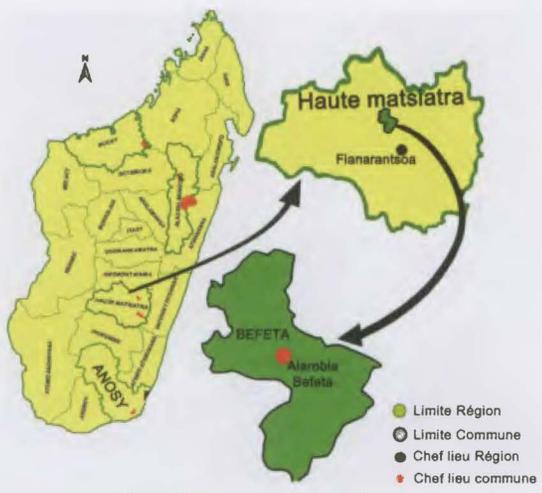
Mais l'incertitude demeure très importante sur les données établies. La forte variabilité intrinsèque du milieu et l'absence de suivi sur le long terme de la production de ces taillis de jujubier réduisent la précision de ces résultats. Il s'agirait pourtant d'un prérequis très utile pour la gestion 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].
- Lépinay 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., Andriambolano 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 thermoélectriques 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.



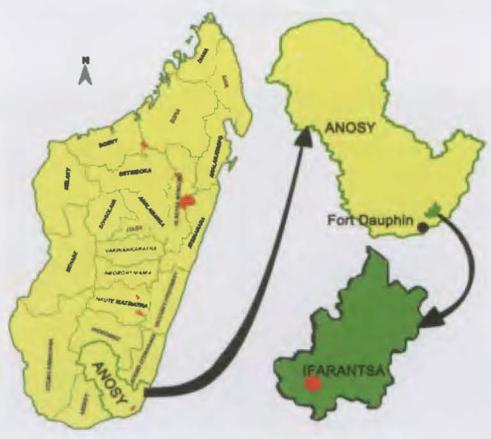
Carte 1 : Les communes cibles.



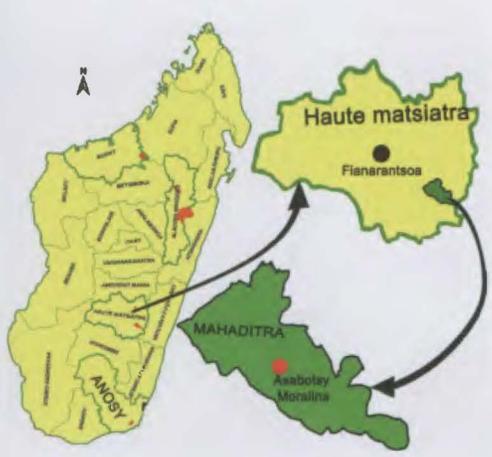
Carte 2 : Commune rurale de Befeta.



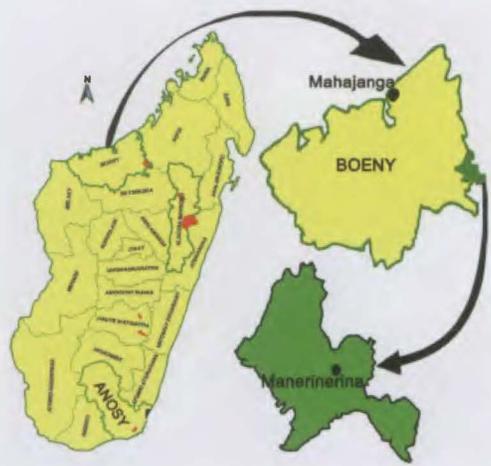
Carte 3 : Commune rurale de Didy.



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.

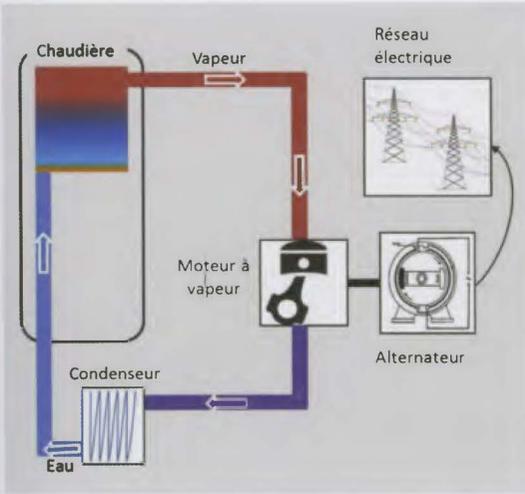


Figure 1 : Schéma général d'un ensemble moteur à vapeur.

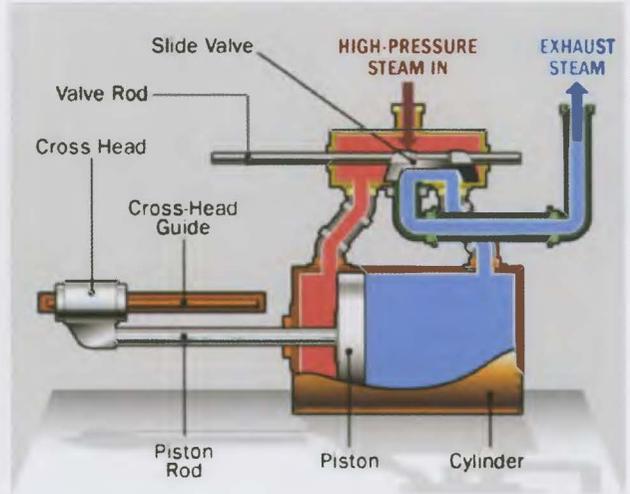


Figure 2 : Schéma de principe du moteur à vapeur (Marshall Brain, 2000).



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.

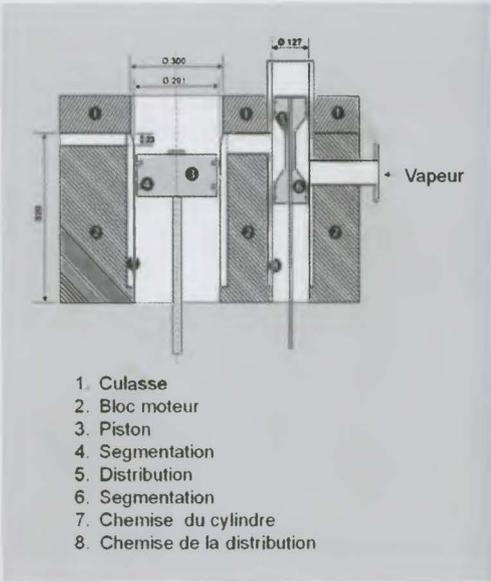


Figure 3 : Détail de l'alimentation moteur en vapeur.

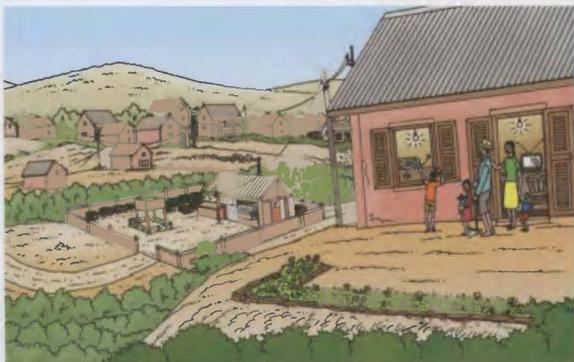


Figure 1 : Représentation d'une centrale thermoélectrique à biomasse vapeur pour assurer l'électrification rurale décentralisée. (Dessin de Roddy)



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 cépée de Ziziphus, dont les rejets sont âgés d'environ dix ans. Les circonférences de chaque rejet sont mesurées à 1,30 m 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)

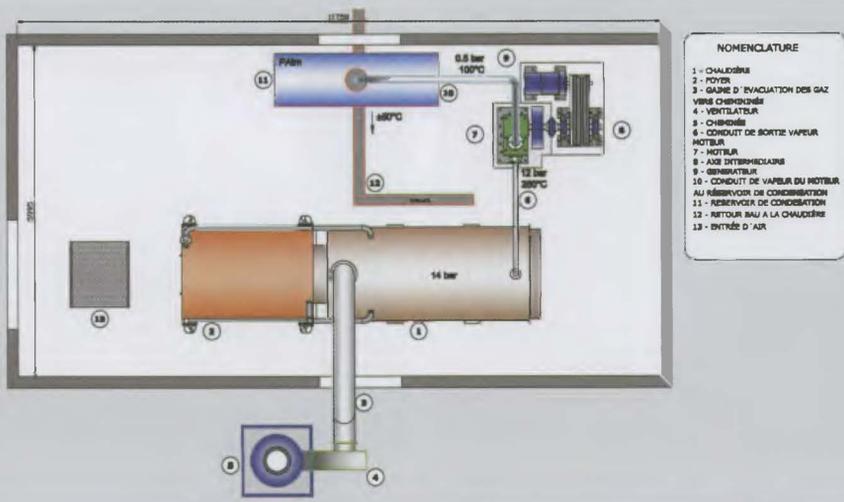


Figure 1 : Schéma général d'installation des centrales thermoélectriques. (Source COGEBIO/PSI)

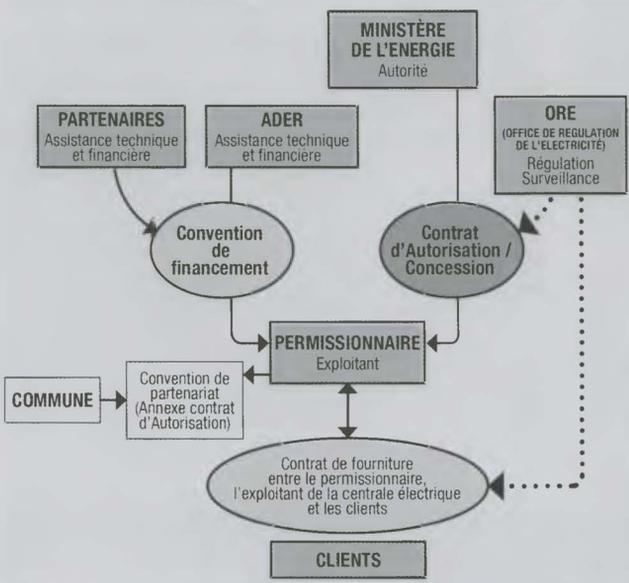


Figure 2 : Relations contractuelles de fonctionnement d'une installation ERD biomasse vapeur ou non. (Source ADER)



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	H40	H90		stère	gramme	Ancien index	nouvel index	Totale	V	V	V	
	06h45				24		60						39300					
	8h00													18	18	18	50	400
	9h00													18	18	18	50	400
	10h00								10					18	18	18	50	400
	10h30	10h30	10h45	15mn														
	11h00													27	33	24	45	400
	11h30	11h30	12h30											18	18	18	50	400
21	12h30	élévation de pression par GE thermique								0,5	4,5			18	18	18	50	400
	13h00													30	33	27	45	400
	14h00								10									
	15h00									0,5				36	40	33	45	400
	16h00													34	40	30	45	400
	17h00	élévation de pression par GE thermique								10,5	5,5			18	18	18	50	400
	18h00								10,5	0,5				40	40	37	45	400
	19h00													46	40	45	400	Problème EAU
	20h00								10	0,5	6			39343	35	45	38	42
	21h00																	
	22h00																	

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).

SYSTÈME DE CONTRÔLE À QUATRE NIVEAU



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.

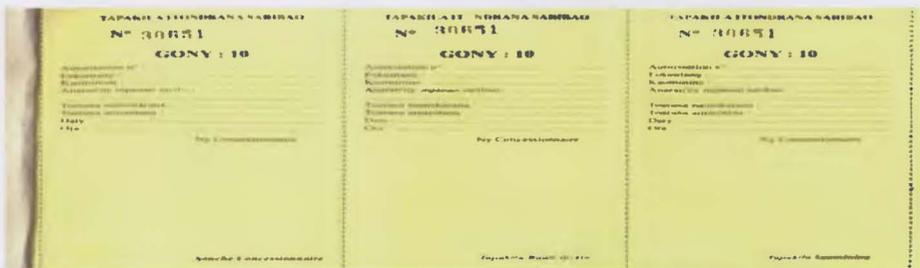


Illustration 3 : Modèle de coupon jaune pour les propriétaires de plantations privées.

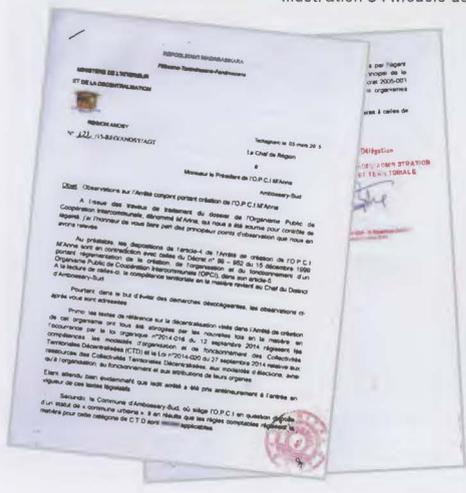


Illustration 4 : Document de l'OPCI.

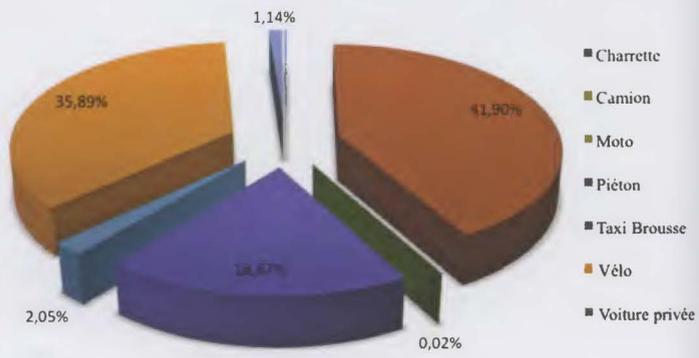
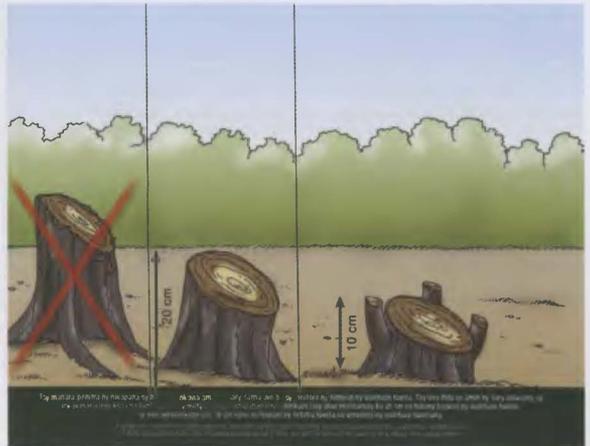


Schéma 2 : Répartition de l'approvisionnement de la ville de Fort-Dauphin en charbon de bois par mode de transport.



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)



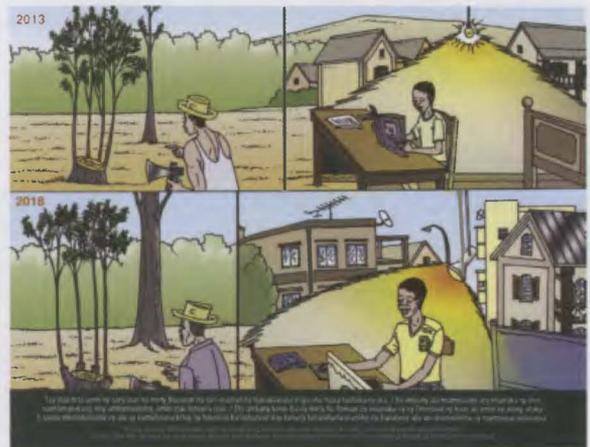
Dessin 3 : Des bûches de taille un mètre pour un bon enfouissement. (Roddy, 2013)



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

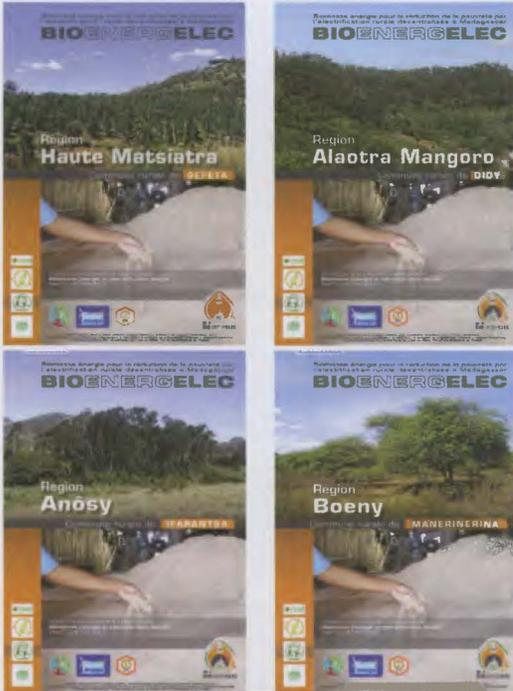


Dessin 5 : Dépresseage des rejets après reprise. (Roddy, 2013)



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 DE DEMANDE DE FINANCEMENT
ÉLECTRIFICATION RURALE DÉCENTRALISÉE À BASE DE BIOMASSE

LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST PRÉPARÉ PAR LA BIOMASSE EN RÉGION ET NE PEUT ÊTRE REPRODUIT NI ACCÉDÉ NI EMPRÊTÉ À D'AUTRES ORGANISMES SANS L'AUTORISATION PRÉALABLE DE L'ÉQUIPE DE PROJETANTS DE CE DOCUMENT (SERMAD, BETC, CASIELEC).

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
Projet ERD à base de biomasse

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, MANERIVERINA, IFARANTSA, BETETA, MAHADITRA

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

- D'un ensemble foyer plus chaudière ou à 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.

SCHEMA d'une centrale thermoelectrique Engertem

OBJECTIFS

- Installation de cinq centrales thermoelectriques biomasse pilot.
- L'électrification Rurale Décentralisée (ERD).
- Analyse des performances techniques et financières du système énergétique.
- Évaluation 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 lignieuses humides.
- ☒ Technologie accessible en milieu rural du fait de la disponibilité de tous types de biomasse.
- ☒ 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 gazoil/KW produit.

CONTRAINTES

- ☒ Coût d'investissement élevé (comparé au groupe diesel).
- ☒ Equipements 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 DISSET**)	292 476
ENSEMBLE DE PRODUCTION ERD (Y COMPRIS TRANSPORT VERS MADAGASCAR)	214 539
MOTEUR VAPEUR 70 KW	115 788
CHAUDIÈRE + FOYER MOTEUR BIOMASSE NON LIGNEUSE ET NON LOCALISE	76 011
INSTALLATION MOTEUR, CHAUDIÈRE ET FOYER	22 740
BÂTIMENT	27 495
REPARAUFERIL	58 352

* Coût 2013 en euros
** Fourneaux directs = fabricant du moteur, entrepreus bâtiment, réseau et installations finale

DES COMMUNES AUX SITUATIONS ET AUX DYNAMIQUES DE DEVELOPPEMENT CONTRASTÉES

Tableau 2 : Situation démographique des 5 communes

COMMUNE	NOMBRE TOTAL DE MENAGES	NOMBRE ALORS DE PERSONNES
Didy	780	3 876
Maneriverina	770	3 187
Ifarantsa	330	1 644
Beteta	240	1 142
Mahaditra	300	1 453
TOTAL	3 420	17 707

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

	MOYENNE	MINI	MAXI	
Didy	774	574	266	4482
Maneriverina	596	327	327	4545
Ifarantsa	843	656	46	3038
Beteta	1179	464	178	4470
Mahaditra	925	707	134	2656
Total	881	499	327	4470

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

LES CONTRAINTES FINANCIÈRES NE LAISSANT PAS LE DÉVELOPPEMENT DES COMMUNES CENDRÉES EN DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. LA COMMUNE CENDRÉE EST EN DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. (CITE DE LA BIOMASSE EN RÉGION)