



CAPITALISATION DES SECTEURS BIOGAZ ET FOYERS AMELIORES A MADAGASCAR



Table des matières

Table des matières	i
Figures.....	ii
Tableaux.....	iii
Définitions.....	iii
Abréviations	iv
1 Contextes, problématiques et enjeux	1
1.1 Madagascar – contexte et enjeux.....	1
1.2 Une situation énergétique non durable	2
1.3 Des rendements agricoles encore trop faibles	6
1.4 Le biogaz et le foyer amélioré des solutions durables adaptées à Madagascar	7
1.5 Les institutions impliquées dans les filières considérées	12
1.6 Objectifs et méthodologie de la capitalisation	14
2 Présentation de la technologie <i>biogaz</i> (16)(17).....	15
2.1 Définition, historique et principes de fonctionnement de la technologie <i>biogaz</i>	15
2.2 Le biogaz dans le monde, en Afrique	15
2.3 Quelques aspects techniques(30)(31).....	17
2.4 Les impacts et facteurs clés de succès des installations biogaz	21
2.5 Conclusion	21
3 Capitalisation du secteur biogaz à Madagascar.....	22
3.1 Historique du biogaz à Madagascar et résumé de l'étude	22
3.2 Les acteurs de la filière biogaz	24
3.3 Gouvernance, réglementation	44
3.4 Les impacts de la technologie <i>biogaz</i> à Madagascar.....	45
3.5 Facteurs clés de succès du développement de la technologie <i>biogaz</i> à Madagascar (39)(24)(38).....	49
3.6 Analyse de la filière <i>biogaz</i> à Madagascar.....	55
3.7 Recommandations et conclusion.....	58
4 Présentation de la technologie <i>foyer amélioré</i>	63
4.1 Définition, historique et principes de fonctionnement.....	63
4.2 Les enjeux des foyers de cuisson dans le monde(49) et en Afrique.....	64
4.3 Le bois-énergie, une solution durable ?	66
4.4 Les modèles de foyers existants	67
4.5 Les impacts et facteurs clés de succès des foyers améliorés	70
4.6 Conclusion	71
5 Capitalisation du secteur foyer amélioré à Madagascar	72
5.1 Introduction et contexte de la filière à Madagascar.....	72
5.2 Les acteurs et initiatives de la filière foyers améliorés à Madagascar	73
5.3 Gouvernance, réglementation	84
5.4 Les impacts de la technologie foyers améliorés.....	84
5.5 Facteurs clés de succès du développement de la filière foyers améliorés à Madagascar ...	86
5.6 Analyse de la filière foyers améliorés à Madagascar	91
5.7 Recommandations et conclusion.....	97
6 Conclusion générale	105
6.1 Généralités	105
6.2 Filière biogaz	105
6.3 Filière foyers améliorés	106
7 ANNEXES GENERALES	107
7.1 Madagascar et les Objectifs du Millénaire pour le Développement (68).....	107
7.2 La Nouvelle Politique Énergétique de Madagascar (2015) (9)	108
7.3 Comparaison des énergies de cuisson alternatives au bois-énergie.....	110
7.4 Liste des organismes et personnes interrogés.....	114
8 ANNEXES BIOGAZ.....	116
8.1 Principes de fonctionnement d'un réservoir biogaz(31)(30).....	116
8.2 Modèles de biodigesteurs existants(64)(30)	119
8.3 Les impacts macro-économiques de la technologie biogaz(39)	121
8.4 Biodigesteurs recensés à Madagascar	123
8.5 Description détaillée des opérateurs biogaz	124

8.6	Description détaillées des projets biogaz	153
8.7	Etude d'impacts d'une solution biogaz domestique	171
8.8	Facteurs clés de succès de la technologie <i>biogaz</i>	177
9	ANNEXES FOYERS AMELIORES.....	181
9.1	Description détaillée des acteurs du secteur foyers améliorés	181
9.2	Etude d'impacts de l'utilisation d'un foyer amélioré.....	199
9.3	Méthodologie des tests de performance des foyers améliorés	201
9.4	Tableaux récapitulatifs – facteurs clés de succès	204
10	Bibliographie	207

Figures

Figure 1	- Pyramide des âges à Madagascar, INSTAT	1
Figure 2	- Ressources et consommation finale en électricité, NPE	2
Figure 3	- Répartition des sources d'énergie de cuisson, INSTAT	3
Figure 4	- Arbre à problème de l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson	4
Figure 5	- Carte du couvert forestier à Madagascar, Banque Mondiale	4
Figure 6	- Production vivrière, FAO	6
Figure 7	- Economie réalisée par l'utilisation d'un foyer à charbon, NPE	8
Figure 8	- Economie réalisée par l'utilisation d'un foyer amélioré à bois, NPE	8
Figure 9	- Principe de fonctionnement d'un biodigester	15
Figure 10	- Carte d'Afrique du potentiel technique biogaz	16
Figure 11	- Principe de la digestion anaérobie	17
Figure 12	- Equivalent énergétique d'un m3 de biogaz	18
Figure 13	- Classement des modèles de biodigester	19
Figure 14	- cartographie des biodigesteurs installés à Madagascar	23
Figure 15	- Acteurs dans le secteur biogaz.....	24
Figure 16	- Schéma de principe du biodigester FAFABI	26
Figure 17	- Plan du biodigester ASENSE.....	28
Figure 18	- Nombre de constructions réalisées par ASENSE par année	29
Figure 19	- schéma de principe de fonctionnement du biodigester JIRO	30
Figure 20	- Schéma de principe du biodigester Sistema.bio.....	34
Figure 21	- Modèle de diffusion des biodigesteurs Sistema.bio.....	35
Figure 22	- Schéma de principe de fonctionnement du site de Loowatt	39
Figure 23	- Plan des installations de biodigester du GRET	40
Figure 24	- Schéma de principe du site de traitement des eaux usées EAST (2013)	41
Figure 25	- Schéma de principe du site de traitement des eaux usées EAST (2016)	41
Figure 26	- Bilan financier d'un ménage qui investit dans un biodigester	46
Figure 27	- Répartition du type d'exploitants à Madagascar	51
Figure 28	- schéma de principes convection, conduction et radiation	64
Figure 29	- Pourcentage de la population qui utilise des combustibles solides pour la cuisson (52) ...	64
Figure 30	- Décès prématurés dus aux fumées de cuisson (54)	65
Figure 31	- Types de foyers diffusés dans le monde (GACC, 2014)	65
Figure 32	- Rapidité du développement des technologies de cuisson améliorées (2012 -2014)	66
Figure 33	- Cartographie de l'accès à une énergie de cuisson propre dans le monde (SE4All, 2014)	66
Figure 34	- Schéma de principe de fonctionnement d'un foyer amélioré à bois portatif	69
Figure 35	- Schéma de principe de fonctionnement d'un foyer amélioré à charbon.....	70
Figure 36	- schéma de principe du processus de méthanisation	116
Figure 37	- Pouvoir méthanogène des intrants	118
Figure 38	- Organisation de l'entreprise Sistema.bio	144
Figure 39	- Plan du biodigester CICR	167
Figure 40	- Courbes du bilan financier d'un ménage investissant dans un biodigester	175

Tableaux

Tableau 1 - Comparaison des indices économiques	1
Tableau 2 - Mix énergétique à Madagascar	2
Tableau 3 - Consommation de bois et de charbon moyenne	3
Tableau 4 - Répartition de la consommation énergétique à Madagascar, NPE	5
Tableau 5 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie pour la cuisson	12
Tableau 6 - Composition du biogaz.....	17
Tableau 7 - Comparaison des modèles de biodigesteur.....	20
Tableau 8 - Biodigesteurs installés par FAFAFI	27
Tableau 9 - Biodigesteurs installés par le CNRIT	33
Tableau 10 - Modèles de biodigesteurs Sistema.bio	34
Tableau 11 - Bénéfices économiques liés à l'utilisation d'un biodigesteur	46
Tableau 12 - Bilan des facteurs clés biogaz.....	58
Tableau 13 - Projection du nombre de personnes qui utilisent le bois-énergie	66
Tableau 14 - Part d'utilisation des types de foyers selon les raisons des consommateurs (AIDES 2015)	72
Tableau 15 - Bilan des facteurs clés foyers améliorés.....	97
Tableau 16 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères techniques	110
Tableau 17 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères économiques	111
Tableau 18 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères environnementaux.....	112
Tableau 19 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères sociaux.....	113
Tableau 20 - Températures de méthanisation	117
Tableau 21 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur maçonné à dôme fixe	119
Tableau 22 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur maçonné à dôme fixe en bâche flexible.....	119
Tableau 23 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur maçonné à dôme flottant.....	120
Tableau 24 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur en fibre de verre	121
Tableau 25 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur en plastic tank.....	121
Tableau 26 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur flexible (bag)	121
Tableau 27 - Liste des biodigesteurs installés à Madagascar	123
Tableau 28 - Bilan financier annuel d'un ménage investissant dans un biodigesteur	175

Définitions

Biodigesteur : dispositif permettant à des micro-organismes (bactéries) de digérer de la matière organique dans un milieu privé d'oxygène (anaérobie) afin de produire du biogaz (principalement composé de méthane). Il peut également être désigné par « réservoir ».

Biogaz : gaz inflammable principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone produit à l'aide d'un biodigesteur.

Bois-énergie : bois brut ou transformé en charbon de bois dans le cadre d'une utilisation énergétique (principalement pour la cuisson).

Digestat : résidu solide ou liquide obtenu après digestion anaérobie par les bactéries des matières organiques introduites dans le biodigesteur.

Foyer amélioré : installation permettant de produire suffisamment de chaleur à partir de la combustion d'une ressource naturelle (pour réchauffer ou cuire des aliments) plus performante que les foyers traditionnels majoritairement utilisés.

Abréviations

ADER : Agence de Développement de l'Electrification Rural
AFD : Agence Française de Développement
AGR : Activités Génératrices de Revenus
BFI : Biogaz Feasibility Index (Index de Faisabilité du Biogaz)
COBA : Communauté de Base
CNRIT : Centre National de Recherche Industrielle et Technologique
CU : Commune Urbaine
DEA : Direction de l'Energie Alternative
EUEI : Européenne pour L'Energie
ENSOMD : Enquête Nationale sur le Suivi des Objectifs du Millénaire
EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
GACC : Global Alliance for Clean Cookstoves
GES : Gaz à Effet de Serre
GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié
IDH : Indicateur de Développement Humain
INSTAT : Institut National de la Statistique (à Madagascar)
IRRI : International Rice Research Institute
KPT : Kitchen performance Test (ou TPC)
MEEF : Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts
MEEH : Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures
MPAE : Ministère auprès de la Présidence en charge de l'Agriculture et de l'Elevage
NPE : Nouvelle Politique Energétique (de Madagascar)
NRB : Fraction Non Renouvelable de la Biomasse
OMD : Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONE : Office National pour l'Environnement
ONG : Organisation Non Gouvernementale
PIB : Produit Intérieur Brut
PND : Plan National de Développement
PPN : Produits de Première Nécessité
REDD+ : Réduction des Emissions liées à la Déforestation et la Dégradation des forêts)
R&D : Recherches et Développement
SAMVA : Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo
SNABE : Stratégie Nationale Bois-Energie
SWOT : Strength, Weakness, Opportunity and Threat (Force, faiblesse, opportunité et menace)
TCC : Test de Cuisine Contrôlé
TEE : Test d'Ebullition de l'Eau
TPC : Test de Performance à la Cuisine (ou KPT)

1 Contextes, problématiques et enjeux

1.1 Madagascar – contexte et enjeux

Géographie et climat

Madagascar est une île de l'Océan Indien séparée par le canal du Mozambique à l'Est du continent Africain. Sa superficie est de 592 040 km², ce qui en fait la 5^{ème} plus grande île du monde. L'île très étirée (1580 km de long) de l'équateur au tropique du Capricorne, présente une importante diversité de paysages, de sols, de faunes et de flores. Le centre du pays, appelé Hauts Plateaux, a une altitude qui oscille entre 800 et 1500 mètres et représente près de 60% de la superficie totale de l'île.

Il existe 5 climats à Madagascar : Au sud-ouest le climat est très sec et chaud (subdésertique), la côte-Est est équatoriale (chaude et très humide), les Hauts-Plateaux sont subhumides (une saison sèche plus fraîche Avril-Octobre et une saison humide chaude Novembre-Mars), la côte Ouest est relativement sèche et chaude.

Situation démographique

Madagascar compte près de 25 millions d'habitants. Selon la Banque Mondiale 2016, bien que le taux de mortalité infantiles (enfants de moins de 5 ans) soit de 56/1000, la croissance démographique avoisine les 3% et la population malgache pourrait atteindre 55 millions d'habitants en 2050. De plus, selon l'INSTAT(1) en 2012, plus de 40% de la population aurait moins de 15 ans et l'espérance de vie avoisinerait les 65 ans.



Figure 1 - Pyramide des âges à Madagascar, INSTAT

Situations économique et sociale

Situation économique globale

En 2015, le PIB de Madagascar(2) s'élève à 9 900 millions de dollars US et son PIB par habitant est de 393\$, ce qui en fait l'un des 10 pays les plus pauvres du monde¹.

L'Indicateur de Développement Humain (IDH) proposé par le PNUD depuis 1990 évalue le niveau de développement humain. Il est calculé à partir de l'espérance de vie à la naissance, de l'éducation (durée moyenne et attendue de scolarisation) et le niveau de vie basé sur le revenu national brut par habitant. En 2014, celui de Madagascar est de 0,510, ce qui le classe à la 156^{ème} place sur 190 pays évalués².

En 2013, selon la Banque Mondiale, plus de 90% de la population vivrait en dessous du seuil de pauvreté de 2\$ par jour et près de 80% avait moins de 1,25\$ par jour.

Les diverses crises politiques nationales et les crises économiques internationales ont eu un impact très important sur le pays qui connaît de grandes difficultés socio-économiques ces dernières années. A Madagascar, l'agriculture garde une part très importante dans le PIB nationale puisqu'il représente 26,5% (contre 1,7% en France ou 10% en Chine par exemple).

	Haiti	Madagascar	Afrique du Sud	France	Etats-Unis
IDH - 2014	0,480	0,510	0,670	0,890	0,920
PIB (millions US \$) - 2015	8 800	9 510	317 000	2 422 000	17 968 000
Croissance PIB (% annuel)	2,75% (2014)	3,3% (2015)	1,3% (2015)	1,1% (2015)	2,39% (2014)
PIB par hab (US \$) - 2015	\$830	\$393	\$5 784	\$37 728	\$55 904

Tableau 1 - Comparaison des indices économiques

Situation sociale

A Madagascar, 47% de la population souffre de malnutrition chronique et la mortalité infantile et maternelle ont des taux encore trop élevés. La proportion des moins de 15 qui sont scolarisés est

¹<https://fr.actualitix.com/pays/wld/pib-par-habitant-par-pays.php>

²<https://en.actualitix.com/country/mdg/madagascar-human-development-index.php>

en nette régression depuis la crise de 2009. Bien que les égalités hommes-femmes à l'école soient plutôt bien respectées, l'inégalité homme/femme au niveau de l'accès à l'emploi et salaires reste très importante. Concernant l'accès à une eau saine, des installations d'assainissement et à une énergie propre et abordable, les statistiques sont également alarmantes. Enfin les inégalités ne font que s'accroître entre les plus riches et les plus pauvres en ce qui concerne les conditions de vie, les salaires, la malnutrition, l'accès aux services de base, etc. (Indice de Gini³ à 42.65% en 2012⁴).

Pour plus d'informations sur les statistiques et les objectifs de développement pour Madagascar, se référer à l'Annexe 7.1 – Madagascar et les Objectifs du Millénaire pour le Développement.

Ainsi, la situation économique et sociale de Madagascar est alarmante et des solutions durables doivent être mises en place par les institutions (gouvernement, organisations internationales, bailleurs de fonds, etc.) afin d'améliorer les conditions de vie de la population. Bien que les mauvaises infrastructures et donc l'enclavement des ménages réduisent considérablement les possibilités de développement du pays, un levier majeur serait l'énergie domestique et productive.

1.2 Une situation énergétique non durable

Selon une étude menée par l'INSTAT(1)⁵ de Madagascar en 2013 et le WWF(3) en 2012, l'offre énergétique à Madagascar est dominée par le bois-énergie (92%) et les produits pétroliers importés en totalité (7%) qui satisfont aux trois besoins que sont la cuisson (94% de l'énergie consommée à Madagascar(4)), l'éclairage et l'électricité (5%) et l'industrie et le commerce (1%). A Madagascar, seul 15 % de la population (et 5 % en milieu rural) a accès à l'électricité qui est majoritairement produite par des énergies fossiles et hydrauliques.

	Accès à l'électricité	Energies fossiles (pétrole, gaz, charbon) (+ autre)	Hydraulique	EnR (hors hydraulique)
Monde	78%	68 % (+ 12% nucléaire)	16%	4%
Afrique Subsaharienne	29%	39%	60%	1%
Madagascar	15%	45%	54%	1 %
Milieu rural	5%	75 % (pétrole) (+3,5 % biomasse thermique)	18%	3,5 %

Tableau 2 - Mix énergétique à Madagascar

Electricité et éclairage

Les usages électriques et l'éclairage représentent environ 2,2 TWh (0,19 Mtep ou 8 000 TJ) par an. Les ressources sont principalement pétrolières et hydroélectrique. 55 % de la consommation correspond à la perte énergétique (différence entre énergie primaire et énergie finale), 27 % revient à la consommation des ménages (éclairage, communication – télévision, radio, téléphone, etc. -, autres – cuiseurs, etc.), 15 % à l'industrie et 3,2 % au commerce.

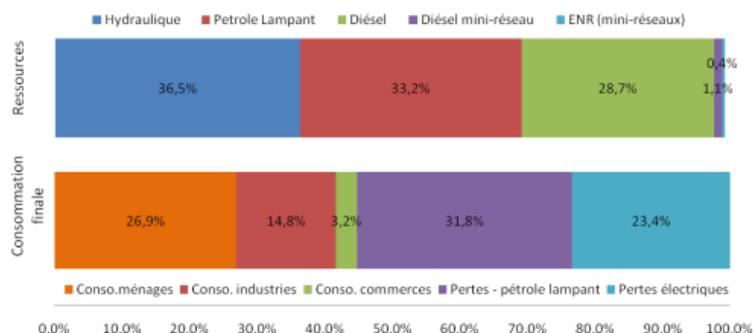


Figure 2 - Ressources et consommation finale en électricité, NPE

Ainsi, bien que le pays dispose de potentielles ressources en énergies renouvelables pour ces usages qui restent inexploitées(5) (moins de 2 % des potentiels hydroélectriques sont exploités, l'île possède un gisement solaire de 2000 kWh/m² et un ensoleillement de plus de 2800 heures par an sur l'ensemble du territoire, l'éolien offre également des possibilités avec une vitesse moyenne du vent de 6 à 9 m/s à 50 m, d'autres ressources d'énergie géothermique, valorisation de la biomasse sont également possibles), les besoins basiques en éclairage et électricité ne sont pas couverts par des moyens modernes et durables. Par exemple, plus de 81 % de la population utilise le pétrole lampant pour l'éclairage en 2010. En milieu rural, l'utilisation des lampes torches à pile

³ <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1551>

⁴ <http://knoema.fr/atlas/Madagascar/topics/Pauvret%C3%A9/In%C3%A9galit%C3%A9-de-revenu/Indice-de-GINI>

⁵ Les numéros entre parenthèse font référence à la bibliographie qui se situe à la fin du document.

est également très répandue. Les piles sont alors majoritairement jetées dans l'environnement. En conséquence, le pays reste très dépendant des énergies fossiles qui sont entièrement importées et le rendent vulnérable face aux fluctuations des prix.

Utilisation thermiques commerciales et industrielles

Les utilisations thermiques commerciales et industrielles (GPL, diésel, fioul lourd et bois énergie) représenteraient selon une estimation du Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures(6), 0,42 TWh (0,036 Mtep ou 1 512 TJ) par an. Il s'agit là d'utilisation par des entreprises à des fins productives dont plus du tiers de l'énergie primaire serait perdue.

La cuisson des ménages

La cuisson (bois, charbon et GPL) des ménages, des commerçants (restaurateurs, hôtels, etc.) et artisans (forgerons, briqueteries, etc.) représente 37,4 TWh (3,23 Mtep ou 136 000 TJ) d'énergie utile par an. Aujourd'hui, selon l'Initiative de l'Union Européenne pour L'Énergie(7) (EUEI), plus de 98 % des ménages malgaches utilisent le bois-énergie pour cuisiner avec une différence entre le milieu urbain (96,6 %) et le milieu rural (99,6 %).

Selon le WWF(3) et l'INSTAT(1), près de la moitié de la population urbaine utilise principalement le charbon de bois comme combustible contre seulement moins de 10% en milieu rural. Notons par ailleurs, que plus de 77 % du bois-énergie consommé est ramassé (et non acheté) allant jusqu'à 86 % en milieu rural. Enfin, il est estimé que 20 % des ménages urbains utilisent un foyer amélioré (à charbon ou à bois), mais que c'est le cas de moins de 4 % de la population en milieu rural.

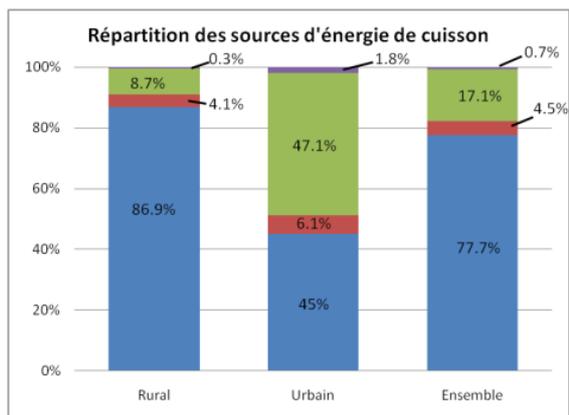


Figure 3 - Répartition des sources d'énergie de cuisson, INSTAT

	Milieu urbain	Milieu rural
Charbon de bois		
kg/personne/an	125	110
kg/personne/jour	0,350	0,300
Bois de feu		
kg/personne/an	270	513
kg/personne/jour	0,750	1,4

Tableau 3 - Consommation de bois et de charbon moyenne

- 44 % transformés en charbon de bois à travers un processus de carbonisation à faible rendement massique (estimé entre 12 et 15 %).

Les rendements des foyers traditionnels ouverts sont d'environ 18 %. En conséquence, en dehors du transport, l'énergie consommée à Madagascar est essentiellement liée à la cuisson des ménages et l'utilisation du bois-énergie dans des foyers de cuisson majoritairement traditionnels. Sur les Hauts-Plateaux, où le climat est plus froid, les ménages cuisinent généralement en intérieur tandis que dans les autres zones qui sont plus chaudes les femmes préfèrent cuisiner à l'extérieur ou sous des espaces couverts extérieurs (varangues, balcons, etc.). Toutes les maisons ne disposent pas d'une pièce séparée pour la cuisine, même si un espace est souvent réservé.

L'aliment principal est le riz. Il est consommé à tous les repas de la journée (petit-déjeuner, déjeuner et dîner). Selon le niveau de vie et la localisation des ménages, il est accompagné de pois (haricots), d'un morceau de viande ou de légumes (cuits ou en achard). Pour sa cuisson, les ménages utilisent en très grande majorité les marmites de fabrication artisanale locale (Ambatolampy) à partir d'aluminium recyclé. Les femmes cuisinent et vont chercher l'eau au puits. Même si la corvée de bois reste majoritairement réalisée par les femmes, les hommes et les enfants participent davantage que pour les autres activités mentionnées précédemment.



Conséquences néfastes de l'utilisation du bois-énergie

L'utilisation du bois-énergie en foyer traditionnel inefficace induit de nombreuses conséquences néfastes sur la population, l'environnement et l'économie.

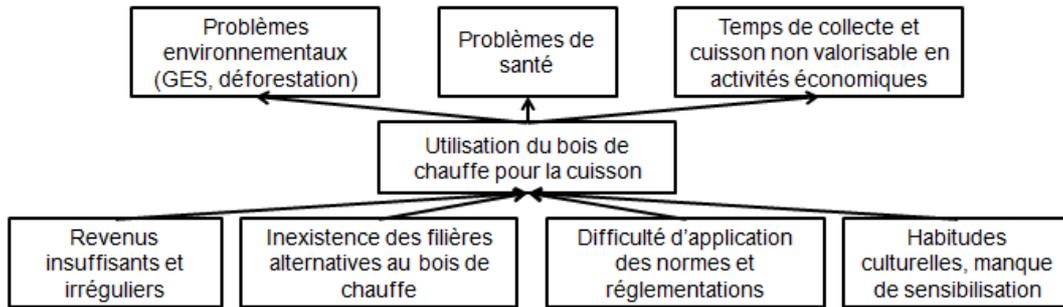


Figure 4 - Arbre à problème de l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson

Conséquences environnementales

Au niveau national(4), la demande en bois énergie (18,3 millions m³ par an) dépasse largement la potentialité en production durable⁶ (9,169 millions de m³ par an). Ainsi, plus de 60% de la consommation est couverte par une surexploitation des ressources forestières. Selon le consortium PERR-FH⁷ du REDD+ (Projet Eco-régional du Programme de Réduction des Emissions issues de la Déforestation et de la Dégradation des forêts) entre 2005 et 2013, Madagascar aurait connu un taux annuel de déforestation de plus de 1 % (soit une perte d'environ 40 000 ha de forêt par an (9)), ce qui classe le pays parmi les plus touchés par la déforestation. Aujourd'hui, moins de 21 % de la superficie de l'île serait encore recouverte de forêts (World Bank 2016).

La consommation excessive et inefficace de bois-énergie, couplée avec une production insuffisante et une carbonisation à faible rendement, ainsi que la recherche de nouvelles terres agricoles et l'exploitation minière contribuent à la dégradation des écosystèmes forestiers (érosion, tarissement des réserves d'eau, diminution de la biodiversité, etc.) et participent grandement à l'augmentation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) du pays.

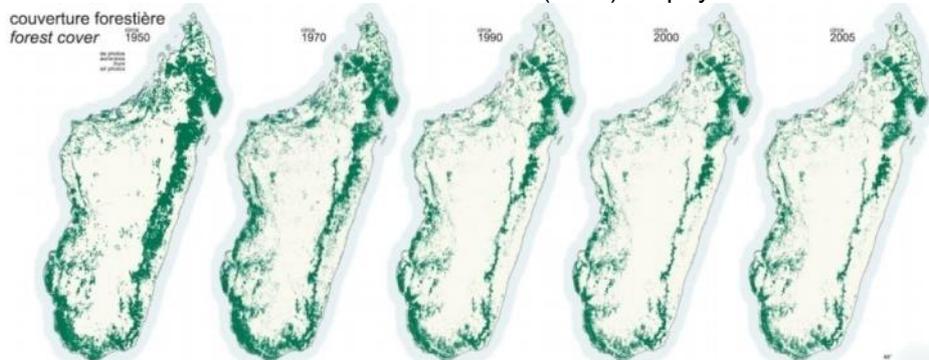


Figure 5 - Carte du couvert forestier à Madagascar, Banque Mondiale

Conséquences sociales et de santé

La combustion de combustibles solides à l'intérieur d'une habitation crée un niveau très élevé de pollution de l'air intérieur qui a des conséquences nocives sur la santé (infections respiratoires aiguës, maladies respiratoires obstructives chroniques, cancer des poumons, maladies oculaires, etc.). Selon une estimation de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), il y aurait plus de 12 000 morts à Madagascar par an qui sont attribuables à la pollution de l'air intérieur causée par la fumée venant de cette combustion.

Par ailleurs, pour les 87 % des ménages ruraux qui ramassent le bois, les distances à parcourir sont de plus en plus grandes (certains habitants marchent jusqu'à 4 heures par jour pour collecter le bois utilisé dans la journée) et le prix du charbon est de plus en plus élevé.

Enfin, les femmes, qui cuisinent, trouvent que le bois est difficile à allumer, peu pratique à manipuler, dangereux pour les enfants, salissant et émet beaucoup de fumée(10).

⁶ Quantité de bois renouvelée par an qui pourrait être exploités sans impliquer de déforestation.

⁷<http://www.etcterra.org/fr/projets/perrfh>

Conséquences économiques

Au niveau national, il semblerait que seul 10 %(6) du volume de la consommation de bois-énergie rentrerait dans la transaction marchande (la plupart du bois étant ramassé à titre gratuit) et une grande partie du charbon de bois provient de l'exploitation illégale des forêts. Ainsi, les prix du bois de chauffe et du charbon sont « bas » et ne reflètent pas actuellement la valeur des ressources prélevées. Cette sous-évaluation favorise une consommation excessive, un gaspillage et affecte la rentabilité de l'exploitation forestière et du reboisement à vocation énergétique. Un travail reste donc à réaliser au niveau de l'organisation de la filière bois-énergie ainsi qu'au niveau du mode de consommation des ménages.

Au niveau des ménages, il faut distinguer deux cas :

- 77 % des ménages malgaches ramassent le bois à titre gratuit : ainsi en cas de diffusion d'alternatives, toute économie de temps passé à collecter le bois (souvent par les hommes, parfois jusqu'à plusieurs heures par jour) pourrait être valorisé en Activité Génératrices de Revenus (AGR) ;
- 23 % des ménages achètent le bois ou le charbon : bien que la valeur du bois-énergie soit sous-évaluée au regard des ressources prélevées, les dépenses des ménages pour l'énergie de cuisson représentent souvent une part très importante de leur budget.

Pour assurer une gestion durable de cette ressource, il est primordial que les institutions publiques prennent des mesures pour réduire les impacts environnementaux, améliorer les conditions de vie des ménages et créer une dynamique économique durable de la filière bois-énergie. Bien qu'une Nouvelle Politique Énergétique ait été définie par le gouvernement en 2015 dans le cadre Plan National de Développement (PND), avec des objectifs ambitieux pour 2019 (informations en Annexe 7.2), les statistiques démontrent que les actions restent insuffisantes.

Situation énergétique – la cuisson, problématique énergétique et sanitaire prioritaire

La situation énergétique à Madagascar reste donc préoccupante. En dehors du transport, la principale consommation énergétique du pays est la cuisson des ménages pour près de 94 %(6). Ainsi, l'utilisation massive du bois-énergie en foyer ouvert est une problématique prioritaire et du gouvernement malgache qui a souligné son intention de s'investir dans ce secteur au travers de sa Nouvelle Politique Énergétique.

	Energie utile consommée (TWh/an)	Part de l'énergie totale hors transport (%)
Electricité et éclairage	2,2	5 %
Industries et commerces	0,42	1 %
Cuisson	37,4	94 %
Total	40,02	100 %

Tableau 4 - Répartition de la consommation énergétique à Madagascar, NPE

Afin de réduire les impacts néfastes (environnementaux, sociaux, médicaux, et économiques) liés à la consommation de bois-énergie pour la cuisson, il sera nécessaire de :

1. **Pérenniser la filière bois-énergie** via des politiques de reboisement et des réglementations, l'amélioration des rendements de production de charbon, etc. De nombreux projets menés par des ONG, des entreprises et les institutions locales, régionales ou nationales tentent de mettre en place une filière bois-énergie plus pérenne qui permette une rationalisation de l'exploitation forestière ainsi qu'une meilleure répartition des revenus tout au long de la chaîne de valeur. Cet aspect ne sera pas approfondi dans ce rapport.
2. **Réduire la consommation de bois-énergie** des ménages et par conséquent les impacts induits via :
 - La diffusion de foyers améliorés, la formation à de bonnes pratiques de cuisson économes, etc. Plusieurs ONG et entreprises avec l'appui de diverses institutions travaillent à la mise en place d'une filière foyers améliorés. Il s'agit de mettre en place la production et la diffusion des foyers ainsi qu'une sensibilisation et formation des ménages pour assurer l'appropriation de cette nouvelle technologie.
 - La mise en place de filiales de production d'énergie renouvelable abordable décentralisée alternative au bois-énergie qui soit adaptée aux besoins des ménages (cuisson), à leurs moyens financiers (souvent très modestes), à l'enclavement des villages ruraux, etc. et qui leur permettent si ce n'est

d'augmenter leur revenu, au moins de diminuer leurs dépenses liées à la consommation de bois-énergie.

Ce rapport fait le bilan de deux solutions pour répondre à cet enjeu : le biogaz et les foyers améliorés.

1.3 Des rendements agricoles encore trop faibles

Les pratiques agricoles à Madagascar sont encore ancestrales et ne permettent pas aux agriculteurs d'obtenir des revenus décentes. Le digestat produit par un biodigesteur est un engrais naturel qui permet d'augmenter significativement les rendements des cultures et donc les revenus des ménages.

Les types de culture

L'enquête ENSOMD 2012-2013(1), relate qu'en 2012, 76,8 % des ménages malgaches pratiquent l'agriculture (agriculture, élevage et pêche) dont 83,7% en milieu rural contre 45,4 % en milieu urbain. Les cultures pratiquées sont essentiellement vivrières destinées à la consommation intérieure et plus rarement de rente et/ou destinées à l'exportation. Les producteurs sont très majoritairement des petites exploitations familiales qui disposent d'une superficie moyenne d'1,7 hectares et d'une superficie médiane d'un hectare. 82 % des agriculteurs pratiquent la polyculture (avec une moyenne de 3 cultures différentes au cours d'une campagne). Les agriculteurs du pays sont en très grande majorité dépendants des conditions météorologiques car ils n'ont pas toujours accès à des sources d'eau suffisamment abondantes toute l'année pour les cultures, utilisent des systèmes d'irrigation vétustes ou sont victimes de cyclones qui détruisent leur culture.

Cultures vivrières

Selon la FAO(11), les principales cultures vivrières à Madagascar sont le riz, avec près de 4 millions de tonnes produites en 2014, le manioc avec 3 millions de tonnes et le maïs avec 380 000 tonnes.

Le riz qui occuperait 60 % de la superficie agricole exploitée à Madagascar et qui serait cultivé par près de 87 % des ménages malgaches(12)est donc la principale culture et source d'alimentation de la population malgache. Le manioc est principalement cultivé dans le sud, région plus sèche avec un sol de plus en plus dégradé moins adaptée à la culture du riz.

Enfin, la production de patate douce s'élèverait à 500 000 tonnes par an, celle de la banane 350 000 tonnes par an, celle du maïs 380 000 tonnes par an ou encore celle de la pomme de terre 220 000 tonnes par an.

Les cultures de rente

Madagascar dispose d'une grande diversité de cultures de rente que sont la vanille (plus de 60 % de la vanille mondiale est produite à Madagascar), le café (28 000 t, soit 0,4 % de la production mondiale contre 47 000 tonnes en 1999), le litchi (100 000 tonnes par an dont 20 % serait exporté vers l'Europe), le cacao (9 000 tonnes en 2013, soit 0,2 % de la production mondiale), le clou de girofle, etc. Malheureusement, ces filières de rentes sont majoritairement détenues par une poignée d'exportateurs et de collecteurs qui imposent leurs règles aux producteurs qui sont alors tributaires du prix très souvent à leur désavantage.

Les rendements agricoles(13)

Selon la FAO(11), les rendements des cultures vivrières restent largement tributaires des techniques culturales traditionnelles utilisées par la grande majorité des producteurs (plus de 90 %). Les efforts déployés jusqu'ici pour intensifier la production n'ont pas encore produit les résultats escomptés. Le rendement moyen du riz, au niveau national serait de l'ordre de 2.71 t/ha contre un rendement mondial moyen de 4.5 t/ha. Les contraintes majeures à l'intensification résultent avant tout de la mauvaise maîtrise de l'eau ainsi qu'au manque d'investissement des agriculteurs (infrastructures et intrants – semences, engrais) qui estiment les risques d'intempéries

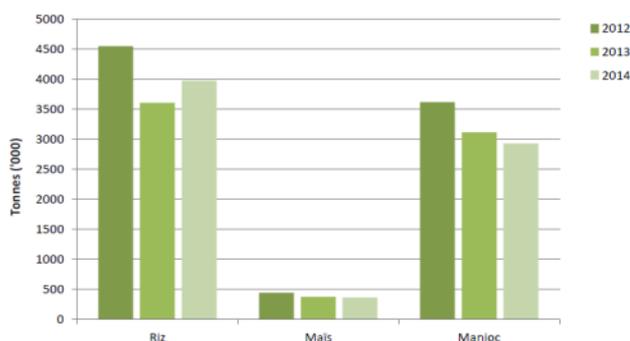


Figure 6 - Production vivrière, FAO

climatiques (cyclones, sécheresse, inondations, etc.) trop importants pour investir ou qui n'ont pas suffisamment de moyens.

Par ailleurs, les feux de brousse et les pratiques culturales traditionnelles comme l'abattis-brûlis sont à l'origine de dégâts successifs sur le système de production. Ils augmentent l'érosion des pentes et provoquent des inondations, l'envasement des infrastructures d'irrigation, la détérioration des réseaux hydro agricoles, etc. et impliquent une baisse de la fertilité des sols et donc de la productivité.

Enfin, le pays est soumis aux catastrophes et fléaux naturels : cyclones, inondations, sécheresse, et aux attaques des organismes nuisibles (criquets, rats, insectes) et aux maladies.

Utilisation d'engrais

A Madagascar, bien qu'aucune statistique officielle n'existe sur les pratiques d'utilisation d'engrais, les agriculteurs semblent utiliser en très grande majorité les bouses de zébus brutes comme engrais plutôt que les engrais chimiques (plus chers et difficiles d'accès). En revanche, lorsqu'ils sont utilisés, ces derniers le sont dans des conditions souvent très néfastes pour l'environnement et la santé publique (dosage, spécificité, ciblage, etc.). Les agriculteurs ne sont pas formés aux bonnes pratiques.

Situation agricole – l'opportunité du digestat issu de la méthanisation

Le secteur de l'agriculture (agriculture, élevage et pêche) occupe près de 76.8 % de la population active à Madagascar. Les pratiques agricoles « ancestrales » majoritairement utilisées par les agriculteurs ne leur permettent pas d'atteindre des revenus décentes (revenus moyen annuels de 978 000 Ar par an soit 280 € par an ou 0.80 € par jour) et les faibles rendements des cultures imposent au pays d'importer du riz et du maïs pour subvenir aux besoins de la population.

L'augmentation de l'utilisation de l'engrais chimique serait néfaste pour la qualité des sols, les risques sanitaires, la pollution des nappes phréatiques, etc. Ainsi, des solutions alternatives doivent être trouvées.

L'utilisation du digestat, matière organique digérée par le processus de méthanisation à l'intérieur du biodigesteur, est un engrais riche en minéraux qui est directement assimilable par les plantes. Ainsi, il permet d'obtenir des rendements bien supérieurs qu'avec une utilisation brute des bouses de zébus par exemple.

1.4 Le biogaz et le foyer amélioré des solutions durables adaptées à Madagascar

Pour réduire la consommation de bois-énergie des ménages à Madagascar, il faut travailler sur les modes de cuisson des ménages. Pour cela, deux niveaux d'action sont possibles.

- La réduction de la quantité de bois de chauffe ou du charbon utilisés pour la cuisson par certains ménages ;
- L'utilisation d'une autre source d'énergie que le bois ou le charbon pour cuisiner.

1.4.1 Réduire la quantité de bois-énergie pour la cuisson

Etant données les conditions actuelles du pays concernant l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson, il n'est pas envisageable que cette source d'énergie soit abandonnée dans les prochaines années. Ainsi, il est important de trouver des solutions pérennes et viables pour réduire les impacts néfastes liés à la consommation de bois ou de charbon pour la cuisson et qui répondent aux enjeux environnementaux, économiques et sociaux.

Au niveau des ménages, l'utilisation d'un foyer amélioré en comparaison d'un foyer traditionnel leur permet principalement de réduire :

- Jusqu'à 60 % la quantité de bois / charbon utilisée pour la cuisson et donc diminuer d'autant les dépenses en combustible (ou le temps passé à la collecte du bois) ;
- Les fumées nocives et les risques induits de maladies respiratoires et donc les coûts sanitaires (jours de maladie non travaillés, mortalité).

Les deux graphiques fournis dans la NPE (6) ci-après, comparent donc les coûts économiques moyens des foyers améliorés à bois et à charbon à celui des foyers traditionnels utilisés à Madagascar. Ainsi, selon le Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures, l'utilisation d'un foyer amélioré à bois ou à charbon permettrait donc d'économiser jusqu'à 16 600 USD par ménage de coût pour la collectivité.

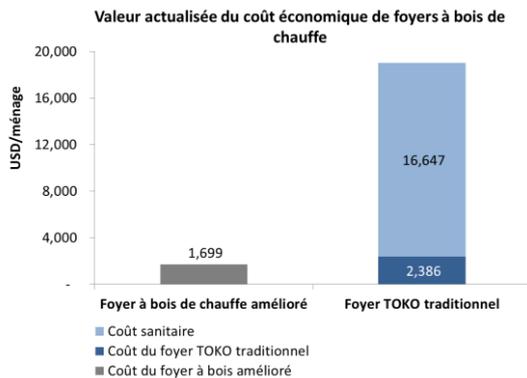


Figure 8 - Economie réalisée par l'utilisation d'un foyer amélioré à bois, NPE

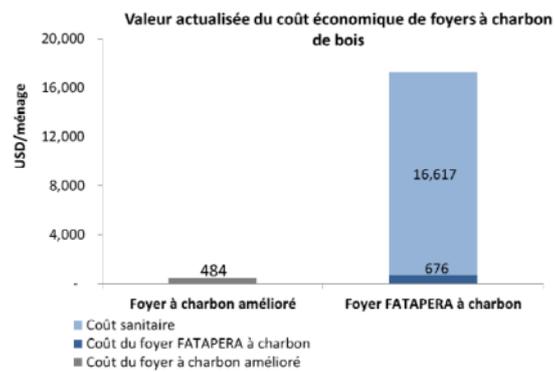


Figure 7 - Economie réalisée par l'utilisation d'un foyer à charbon, NPE

En conséquence, bien que le prix d'achat d'un foyer amélioré soit relativement élevé pour un ménage moyen, l'investissement semble être justifié et permettre de réelles économies mais également de confort aux ménages qui s'en procurent.

Aujourd'hui, moins de 4 % de la population rurale à Madagascar utilise des foyers améliorés. Les raisons principales évoquées à cela sont la méconnaissance de la technologie, le coût d'achat d'un foyer amélioré ou la difficulté d'accès au produit dans les zones enclavées du pays. Ainsi, pour permettre la diffusion de cette technologie il reste à :

- Effectuer des campagnes de sensibilisation aux bienfaits de l'utilisation de ces foyers améliorés pour augmenter l'adoption de la technologie ;
- Réduire tant que possible les coûts de production et de transport des foyers et/ou obtenir des subventions gouvernementales et/ou du marché carbone pour les rendre plus accessibles aux ménages plus vulnérables.

Au niveau de la chaîne de valeur la production et la commercialisation des foyers améliorés représentent « une solution économiquement viable pour Madagascar (...) qui permettrait de dynamiser l'activité économique du pays »(6) car elle procure une source de revenu substantielle pour les artisans qui les produisent, les transporteurs qui les livrent et les commerçants qui les vendent mais permet également aux ménages d'économiser sur les dépenses en combustible (ou le temps passé à la collecte du bois).

1.4.2 Les sources d'énergie alternatives

Bien qu'il soit peu probable que les énergies alternatives puissent jouer un rôle majeur à court et moyen termes, il est nécessaire pour le pays de mettre en place des projets pilotes qui permettent la démonstration de la faisabilité technique, l'acceptabilité sociale et la viabilité économique des alternatives envisagées.

Les énergies alternatives au bois-énergie pour la cuisson sont principalement des combustibles alternatifs à base de biomasse (briquettes, bio-charbon, etc.), le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL), l'électrique, le foyer à bioéthanol, les cuiseurs solaires ou le biogaz.

Autres combustibles à biomasse

L'utilisation de combustibles *biomasses* en alternative au bois-énergie permet essentiellement de réduire la déforestation et de valoriser des déchets organiques majoritairement produits par des activités :

- Agricoles et d'élevage – coques d'arachides, balles de riz, bagasse, bouses, etc. ;
- Forestières - sciure, écorce, broussaille, etc. non valorisées dans l'industrie du bois d'œuvre ou la production de charbon ;
- Industrielles – papiers et cartons, graisses et huiles (industrie agro-alimentaire), etc. ;
- Humaines – déchets ménagers organiques.





Ces matières premières peuvent être transformées (broyées, humidifiées et mélangées, pressées et séchées) pour obtenir des briquettes combustibles. Ces dernières, fabriquées à l'aide de matières premières de récupération, représentent une source d'énergie renouvelable relativement facile à stocker (par rapport au GPL ou solaire) et permet le développement d'une production locale.

En revanche, certaines briquettes nécessitent parfois l'utilisation d'un liant (à partir d'amidon ou d'autres composés) qui sont souvent importés ou cultivés pour leur production. Les briquettes fabriquées sans liant sont plus durables. Cette pratique n'est pas une énergie moderne et saine pour les ménages si elle n'est pas accompagnée de foyers améliorés performants (diffusion de fumées toxiques lors de sa combustion). Enfin, les infrastructures et notamment les routes secondaires ne permettent pas de mettre en place un réseau durable de livraisons régulières dans les zones rurales enclavées.

Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)

Le GPL est un mélange d'hydrocarbures légers, stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole pour 40% et de traitement de gaz naturel pour 60 %. Souvent connu sous forme de butane ou de propane, il est généralement stocké en bouteille. Ses utilisations les plus fréquentes sont dans les briquets, pour la cuisine, la production d'eau chaude ou de chauffage.

Bien que le GPL semble être l'option la plus pratique, essentiellement pour sa facilité de stockage et de transport ainsi que sa qualité d'usage, son coût prohibitif est inadapté pour la grande majorité des ménages à Madagascar.

De plus, il s'agit d'un produit dérivé du pétrole ou de gaz naturel qui n'est pas fabriqué à Madagascar et doit donc être importé, ce qui ne permet pas à l'île d'obtenir son indépendance énergétique. Par ailleurs, les infrastructures et notamment les routes permettant l'accès aux villages étant en très mauvais état, ne permettent pas de mettre en place la logistique pour les livraisons à tous les ménages ruraux enclavés. Enfin c'est un combustible fossile donc non durable qui émet des GES.



Electricité

Les solutions électriques (plaques de cuisson et fours électriques) ne sont pas adaptées au contexte de Madagascar. Aujourd'hui moins de 15 % de la population urbaine et 5 % de la population rurale ont accès à l'électricité et ces taux d'accès à l'électricité augmentent peu ces dernières années. De plus, quel que soit le lieu de résidence (même à Antananarivo, la capitale), les ménages connectés au réseau électrique sont soumis de nombreux problèmes de délestage qui ne permettent pas d'assurer une fourniture continue et fiable d'électricité.

En milieu rural à Madagascar, l'électricité est à 75 % produite par des centrales thermiques à pétrole importé. Enfin, les dépenses liées à l'investissement nécessaire à l'utilisation de l'électricité (plaques électriques, fours, connexion du ménage au réseau électrique, etc.) ainsi qu'aux frais liés à la consommation des installations de cuisson électriques sont souvent trop importants pour les ménages.

Cependant, la production d'électricité à Madagascar est de plus en plus hydraulique et donc renouvelable. Ainsi, si le pays réduisait sa production d'électricité à l'aide d'énergie fossile et améliorerait sa production à l'aide de barrage hydraulique, l'utilisation de l'électricité pourrait devenir un moyen durable de cuisiner.



Foyer à bioéthanol

Le foyer à éthanol (ou ici bioéthanol) est un foyer conçu spécialement pour utiliser un alcool inflammable fabriqué à base de matière organique contenant du saccharose (canne à sucre, betteraves, etc.) ou de l'amidon (maïs, blé, etc.). On parle souvent de bioéthanol comme substitut aux carburants (essence) pour les véhicules, mais il peut également être utilisé comme combustible pour la cuisson.

Selon la Banque Mondiale(14), l'éthanol est un combustible domestique qui a le potentiel d'offrir des avantages multiplicateurs sur le plan économique (création de plus de 800 000 emplois : production de cannes à sucre et



transformation en biocombustible), sanitaire (réduction des maladies respiratoires) et environnemental (réduction de la déforestation, réduction des GES) aux niveaux local, national et international. Par ailleurs, Madagascar étant un pays producteur de cannes à sucre, il serait envisageable de produire son propre éthanol. Enfin, le gouvernement malgache semble prêt à réaliser des investissements publics pour aider à surmonter les obstacles à l'adoption(4).

Cependant, il est important de prendre en considération les projets déjà réalisés dans cette filière bioéthanol dans le monde et en Afrique qui révèlent parfois des problèmes de qualité de l'éthanol et des réchauds produits qui mécontentent les bénéficiaires clients. De plus, notons que des fluctuations de prix importantes de l'éthanol ont été observées dues à la grande part d'exportation du produit vers les pays du *Nord*. Ceci implique une instabilité des dépenses des ménages et donc une insécurité énergétique en plus d'un investissement initial dans le réchaud parfois conséquent. Mais le problème principal de cette filière réside dans l'utilisation et l'occupation des sols à des fins énergétiques au lieu de cultures alimentaires dans un pays qui connaît régulièrement des crises alimentaires. Par ailleurs, ces terres sont souvent « réquisitionnées » par des fonds d'investissement ou de grandes entreprises qui excluent parfois les petits paysans de leurs terres agricoles(15). Enfin, le bioéthanol étant un carburant alternatif envisageable pour remplacer les carburants fossiles utilisés pour les transports (secteur qui n'a pas encore de vraies alternatives identifiées), cette énergie devrait être en priorité consacrée au transport.

Cuiseurs solaires (ou fours solaires)

Il s'agit d'un système de chauffage ou de cuisson basé sur la capture des rayonnements lumineux émis par le soleil. Il ne nécessite donc aucun autre apport extérieur. Ainsi, d'un point de vue environnemental et en termes de santé, ces fours solaires sont irréprochables. Ils ne dégagent aucune fumée qui pourrait être toxique, n'utilise aucun combustible (aucune émission de GES, pas de déforestation, etc.). Bien que le coût d'investissement puisse être élevé pour certains ménages, il est important de souligner qu'une fois le four acheté, aucune dépense en combustible n'est nécessaire pour le faire fonctionner ce qui rend cette solution rentable à court terme. Enfin, ces fours étant relativement simple à construire, les projets peuvent se développer localement.



En revanche, il est important de noter qu'il ne permet pas de cuisiner tous les plats et qu'il est difficilement diffusable en milieu urbain. Le temps de cuisson est lié aux conditions climatiques qui ne sont pas toujours favorables à son utilisation, surtout le soir et pendant la saison des pluies. Ainsi, le ménage doit se munir d'un autre mode de cuisson. Enfin, il nécessite un grand changement d'habitude et d'utilisation au quotidien.

1.4.3 Le Biogaz, une solution durable multi-impacts

Une technologie multi-impacts...

La technologie *biogaz* permet la production de biogaz, énergie renouvelable propre et de digestat, engrais naturel, à partir de déchets organiques existants souvent non valorisés (déchets ménagers, bouses ou lisiers, excréments humains ou résidus agricoles). Ainsi, il s'agit d'une technologie multi-impacts puisqu'elle propose des solutions durables pour :

- La cuisson et l'éclairage (production de biogaz qui peut être brûlé pour la cuisson via des brûleurs adaptés ou en éclairage grâce à une lampe biogaz adaptée) ;
- L'augmentation des rendements des cultures via l'utilisation du digestat en engrais naturel.

Il existe différentes échelles de traitement et de valorisation. Ainsi, un biodigesteur peut être :

- Domestique (à l'échelle d'un ménage) et valoriser des bouses de bovins, lisiers de porc, des déchets organiques ménagers (épluchures, etc.) ou des boues de latrines ;
- Collectif de traitement (à l'échelle d'une commune ou d'un quartier par exemple) en valorisant les boues de latrines collectées par des vidangeurs ou les déchets organiques (d'un marché ou d'une zone) ;
- Productif (à l'échelle d'une unité agro-alimentaire par exemple) en valorisant des déchets organiques d'origine animale ou végétale (abattoir, huilerie, brasserie, etc.).

Pour une production décentralisée et indépendante...

La bonne utilisation d'un biodigester permet aux ménages, à une commune ou un agro- industriels qui disposent de déchets organiques et d'eau de produire du biogaz et du digestat :

- De manière décentralisée - sans dépendance à des institutions ou entreprises fournisseurs ;
- Sans achat d'intrants (combustibles ou engrais chimiques) - sans autres dépenses que celles liées à l'installation et la maintenance du réservoir et indépendamment des cours des matières premières comme le GPL ou l'éthanol pour l'énergie ou les engrais.

En toute sécurité...

Le risque d'explosion est quasi inexistant car :

- Le biogaz est simplement stocké à pression ambiante dans la cuve principale ou un gazomètre extérieur à l'installation (ballons en bâche par exemple) pour une utilisation ultérieure sans dégradation de son pouvoir calorifique ;
- En cas de surproduction, le biogaz s'échappe par le bac d'entrée ou de sortie et le méthane (gaz inflammable du biogaz), étant très instable, se volatilise très rapidement contrairement au gaz butane.

L'utilisation du biodigester est relativement simple mais demande une formation des bénéficiaires pour son remplissage et sa maintenance ainsi que l'utilisation des terminaux de cuisson. Il est également important de bien sensibiliser et former les ménages bénéficiaires aux risques liés à l'utilisation du biogaz et donc aux précautions d'utilisation à respecter.

Et durable

Enfin, le biogaz est une énergie renouvelable et le digestat un engrais naturel qui permettent la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) via :

- La réduction de l'utilisation de bois ou de charbon pour la cuisson (émission de CO₂ par la combustion) et de pétrole lampant pour l'éclairage (émissions de GES via la production du pétrole, son transport et sa combustion) ;
- La valorisation des gaz (principalement le méthane) émis par les déchets organiques souvent non valorisés (émission de méthane des eaux usées et des déchets organiques ménagers ou agricoles en décomposition à l'air, etc.) ;
- La valorisation du digestat, un engrais naturel disponible localement et donc la réduction d'utilisation d'engrais chimiques (fabriqués à base de produits pétroliers, qui abiment les sols sur le long terme, qui sont importés et donc transportés, etc.).

Quelques freins

Cependant, la technologie demande un apport important en matières fermentescibles et eau qui doivent être en quantité suffisante pour assurer le bon fonctionnement du biodigester. De plus, un investissement initial relativement important et très souvent inaccessible pour les ménages moyens des pays en développement. Dans la plupart des pays d'Asie, où la technologie se développe très rapidement, les gouvernements ont décidé de mettre en place des politiques de subventions et d'accompagnement de la filière pour faciliter son déploiement (également via des IMF). Mais ce n'est pas le cas dans tous les pays du monde. En Afrique par exemple, seuls quelques Etats ont mis en place des politiques de subvention à l'investissement d'un biodigester (ex : Burkina Faso). En conséquence, un des enjeux majeurs du développement de la filière réside dans l'accompagnement à l'investissement.

D'un point de vue technique, en dehors des modèles amovibles moins répandus (flexible, fibre de verre ou *plastic-tank*), un biodigester « classique » n'est pas déplaçable. Ainsi, son utilisation est limitée à l'habitation attenante à l'installation. Une famille qui serait contrainte de déménager ne pourrait pas le transporter. Par ailleurs, la technologie n'est pas adaptée aux zones climatiques froides car la réaction de méthanisation est inhibée par les températures inférieures à 10°C et nécessiterait donc la consommation d'énergie pour chauffer la cuve.

Bien que la manutention des déchets organiques soit généralement moins exigeante que la collecte du bois, les ménages sont contraints de remplir le biodigester périodiquement et d'assurer un suivi régulier (entretien, nettoyage) pour ne pas être obligés de réinitialiser la réaction (vidange et remplissage complet). Une présence annuelle permanente ainsi qu'une certaine rigueur sont exigés.

1.4.4 Comparaison des énergies alternatives et conclusion

Les énergies alternatives présentées ci-dessus répondent à des besoins différents et ont toutes des inconvénients et des avantages à l'utilisation. Le tableau ci-dessous résume les points forts et points faibles de chacune de ces alternatives basés sur 4 critères :

- Les **critères techniques** rassemblent l'approvisionnement, la production, l'accessibilité du produit, le stockage de l'énergie et la prise en main ;
- Les **critères économiques** sont le besoin en investissement initial, la dépendance de la filière au gouvernement pour son développement, les dépenses pour la consommation, la maintenance et la création de dynamique économique locale.
- Les **critères environnementaux** considérés sont l'aspect renouvelable, les émissions de GES et les compétitions environnementales et énergétiques.
- Les **critères sociaux** pris en compte sont la décentralisation de la production de l'énergie et l'autonomie des ménages, l'autonomie du pays (importation), les risques sanitaires et d'accidents.

Un tableau plus complet est proposé en Annexe 7.3.

Critères	GPL	Electricité	Foyer à bioéthanol	Four solaire	Combustible biomasse	Biogaz
Techniques	-	--	0	+	++	++
Economiques	-	--	0	+	++	+
Environnementaux	--	-	+	++	+	++
Sociaux	0	-	0	++	0	+

Tableau 5 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie pour la cuisson

En conclusion, les énergies alternatives à l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson les plus adaptés à Madagascar semblent être le biogaz, les combustibles biomasses et les fours solaires. Cette étude propose une description et analyse de la technologie biogaz en général (Partie 2) et à Madagascar (Partie 3) ainsi que de l'utilisation du foyer amélioré pour réduire considérablement l'utilisation de la biomasse qui restera la source d'énergie principale des ménages (Parties 4 et 5).

1.5 Les institutions impliquées dans les filières considérées

Institutions nationales

- **Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures**⁸ (MEEH)

La Direction Générale de l'Energie (DGE) est chargée d'élaborer la Stratégie de mise en œuvre de la politique du Ministère, liée au plan stratégique national de développement du secteur de l'Energie, et en assure l'effectivité. Elle est composée de 4 directions qui sont : la Direction des Etudes et de la Planification (DEP), la Direction de l'Energie Alternatives (DEA), la Direction du Développement des Infrastructures de l'Energie Electrique (DDIEE) et la Direction du Développement des Energies Renouvelables (DDER).

La Direction de l'Energie Alternative (DEA) du MEEH est chargée de la mise en place de la politique du Ministère dans le domaine de l'énergie domestique. Elle travaille à la gestion durable de la filière bois-énergie ainsi qu'à la promotion des énergies alternatives et de substitution au bois (biogaz, éthanol, etc.).

- **Le Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts**⁹(MEEF)

Le MEEF a pour mission la « Sauvegarde et la valorisation de l'environnement et ressources naturelles uniques pour le bien-être de la population Malagasy et le développement durable du pays ». A ce titre, il travaille notamment à la gestion et la valorisation rationnelle des ressources naturelles, la sensibilisation, la prévention et la recherche en matière de lutte contre la pollution de l'air, de l'eau et des sols, assurer la pérennisation de la gestion des Aires Protégées, etc. Un Directeur délégué représente le Ministère dans chacune des 22 régions de l'île.

- **L'Office National pour l'Environnement (ONE)**¹⁰

⁸<http://www.energie.gov.mg/>

⁹<http://www.ecologie.gov.mg/organigramme/> (télécharger le décret fixant les attributions du ministère)

¹⁰<http://www.pnae.mg/>

L'ONE est une institution nationale rattachée au MEEF chargée de prévenir des risques environnementaux dans les investissements publics et privés et de lutter contre les pollutions, gérer le système d'informations environnementales et suivre et évaluer l'évolution de l'environnement pour faciliter les prises de décisions et fournir les labellisations et certifications environnementales.

- **Ministère auprès de la Président chargé de l'Agriculture et de l'Élevage¹¹(MPAE)**

Le MPAE souhaite accroître durablement la productivité, améliorer les infrastructures et revenus des paysans afin de répondre aux besoins des marchés nationaux (et participer à la sécurité alimentaire du pays) ainsi qu'aux marchés régionaux (Océan Indien) et internationaux. Ce Ministère est composé de nombreux départements et services permettant la bonne application des décisions stratégiques concernant l'agriculture et l'élevage. Une cellule d'appui aux régions et des représentations régionales des différents départements permet une meilleure coordination locale des projets menés par le pays.

Institutions régionales et locales

- **Les Régions**

Les Régions dirigent, coordonnent et harmonisent le développement économique et social de l'ensemble de leur ressort territorial et assurent la planification, l'aménagement du territoire et la mise en œuvre de toutes les actions de développement. Elles travaillent notamment à l'identification des axes prioritaires de leur région et à l'établissement et la mise en œuvre des Schémas Régionaux d'Aménagement du Territoire (SRAT) pour assurer la cohérence des actions de développement au niveau régional.

Les Directions Régionales : du Développement Rural, de l'Agriculture et de l'Élevage, de l'Environnement, de l'Écologie et des Forêts, etc. allouées par les Ministères concernés, sont des relais régionaux qui permettent l'application des directives nationales au niveau régional. Elles travaillent en étroite collaboration avec le Chef de Région.

- **Les Communes**

Depuis la création en 1994 des communes dans le cadre de la décentralisation de la gestion des ressources naturelles, ces dernières sont notamment responsables de la protection de l'environnement, du développement économique, social, culturel et environnemental de leur ressort territorial pour l'amélioration du cadre de vie de la population. Des plans communaux sont établis. Elles sont par exemple en charge de la gestion des routes, pistes et ponts, de l'assainissement, la protection civile, la gestion des infrastructures et équipements publics de base sociale, etc. Elles doivent également contribuer à la préservation et la valorisation des ressources naturelles et la prévention et lutte contre les feux de brousses et la déforestation.

Dans ce contexte, elles doivent notamment s'assurer du respect de l'application des lois et réglementations en vigueur par exemple dans le cadre de coupe de bois illicite. Elles sont également en charge de la gestion des routes, pistes et ponts.

Autres organismes nationaux ou locaux

La **JIRAMA** est la compagnie nationale d'eau et d'électricité de Madagascar créée en 1975 par la fusion des deux sociétés SMEE (Société Malagasy des Eaux et Electricité) et SEM (Société des Energies de Madagascar). La JIRAMA n'est plus la seule productrice d'électricité mais garde le monopole du transport et de la distribution. Elle est détenue entièrement par l'Etat Malagasy.

Le **SAMVA**¹² (Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo) est un EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial) placé sous l'autorité du Maire de la Commune Urbaine d'Antananarivo. Il est responsable de l'assainissement urbain sur la commune urbaine d'Antananarivo, l'exploitation et de la maintenance des ouvrages et équipements d'assainissement de la ville d'Antananarivo, incluant notamment les trois volets : eaux usées, ordures ménagères, produits de vidange.

¹¹<http://www.mpae.gov.mg/>

¹²<http://www.mineau.gov.mg/organismes-rattaches-2/samva/>

1.6 Objectifs et méthodologie de la capitalisation

1.6.1 Objectifs de la capitalisation

Les filières *biogaz* et *foyers améliorés* semblent répondre à un enjeu majeur de Madagascar qui est les modes de cuisson des ménages dans l'optique de réduire la consommation de bois-énergie et donc :

- Diminuer les impacts néfastes de son utilisation sur les forêts et la santé de la population ;
- Améliorer les conditions de vie des ménages par la création d'Activités Génératrices de Revenus (AGR) et la réduction de la pénibilité des activités liées à la cuisson (collecte du bois, cuisson au bois ou charbon – fumée, poussières, nettoyage des marmites, etc.).

Cette étude a pour objectif de faire un bilan des actions menées dans ces deux filières à Madagascar. Il s'agit d'évaluer les impacts réels de ces dernières, mettre en évidence les forces et faiblesses de chacun dans le but de proposer des améliorations pour optimiser le déploiement de ces technologies à court et moyen termes.

Ainsi, pour chacune de ces deux filières, l'étude présente la technologie (historique, fonctionnement et impacts), fait un état des lieux des acteurs présents et des actions menées à Madagascar, met en évidence les difficultés rencontrées et facteurs clés de succès et propose des pistes d'améliorations afin d'intensifier leur déploiement à plus grande échelle.

1.6.2 Méthodologie de l'étude

Méthodologie générale de capitalisation

- Recherches bibliographiques sur les deux filières étudiées ;
- Interviews d'acteurs des filières des producteurs aux utilisateurs finaux (voir en Annexe 7.4 la liste des personnes interrogées) ;
- Echanges informels avec divers spécialistes.

Méthodologie de collecte d'informations

Concernant les **opérateurs** et les **projets** (biogaz et foyers améliorés), les étapes suivantes ont été réalisées pour obtenir les informations présentées dans ce rapport.

- Identification des acteurs des filières concernées ;
- Construction et envoi d'un questionnaire adapté (opérateurs / projets / utilisateurs, biogaz / foyer amélioré, etc.) par voie électronique à tous les acteurs identifiés.
- Rendez-vous pour compléter les informations fournies dans le questionnaire ;
- Visites de site (installations biogaz ou unités de production de foyers améliorés) ;
- Echanges par mail ou téléphone pour validation de contenu.

La capitalisation auprès des **ménages bénéficiaires** d'un biodigester familial ou d'un foyer amélioré s'est découpée comme ci-dessous.

- Identification des bénéficiaires à interroger (ou des zones de diffusion de foyers améliorés) : rencontrer des bénéficiaires qui utilisent encore le biodigester (ou le foyer amélioré) mais également ceux qui l'ont abandonné afin de comprendre les raisons de cet abandon et mettre en évidence les enjeux phares de l'appropriation et de la réussite d'un projet biogaz (ou foyer amélioré) ;
- Rédaction d'un questionnaire aux ménages bénéficiaires ;
- Rencontre des bénéficiaires : interviews dans les villages à l'aide du questionnaire ; ces déplacements ont également permis de visiter les installations réalisées et de réaliser des tests de performance des installations (et des foyers améliorés).

2 Présentation de la technologie *biogaz*(16)(17)

2.1 Définition, historique et principes de fonctionnement de la technologie *biogaz*

Définition

La méthanisation ou digestion anaérobie (sans oxygène) est un processus naturel que l'on peut retrouver dans différents écosystèmes (marais, rizières, intestins mammifères). Elle permet la dégradation de la matière organique biodégradable par différents groupes de micro-organismes. Un biodigesteur est une réplique industrielle de ce processus naturel. La dégradation de la matière organique va former :

- Du biogaz, composé principalement de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) ;
- Du digestat qui peut être valorisé en amendement organique.

Ce procédé permet également le traitement des boues de latrines car il élimine une grande partie des éléments pathogènes.

Schéma de principe

Comme le montre le schéma ci-contre, pour méthaniser des matières organiques, il faut les introduire avec de l'eau dans une cuve hermétique enterrée ou non (1). La digestion anaérobie s'effectue naturellement grâce à la présence de micro-organismes dans la cuve en absence d'oxygène (2). Le gaz produit est acheminé jusqu'aux terminaux de cuisson (3) tandis que le digestat liquide est stocké dans la cuve de sortie (4). Ce dernier peut être composté avec des pailles ou matières sèches adaptées (5) ou utilisé directement sur les cultures (6) comme engrais afin d'augmenter les rendements agricoles.

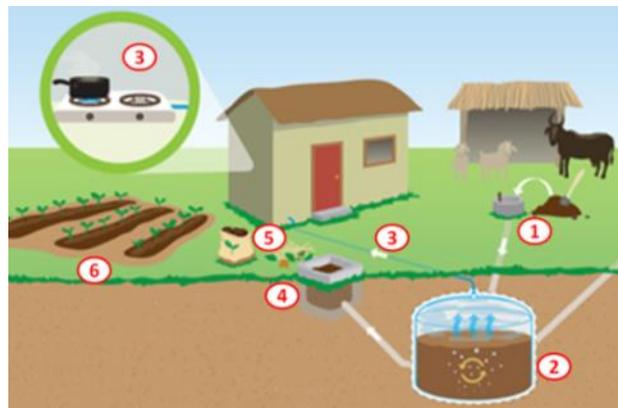


Figure 9 - Principe de fonctionnement d'un biodigesteur

2.2 Le biogaz dans le monde, en Afrique

Bref historique

En 1906, est installée en Allemagne la première station de traitement anaérobie des eaux usées. En Chine en 1920, une entreprise d'éclairage au biogaz est créée et une usine de biogaz agricole à petite échelle dans laquelle les toilettes ainsi que les porcheries étaient connectés au même digesteur enterré. La technologie connaît un essor intéressant à la fin de la seconde guerre mondiale suite à la faible disponibilité du pétrole. Mais la diminution des coûts des produits pétroliers a mené à un ralentissement du développement de la méthanisation. Les crises pétrolières et le développement de la technologie *biogaz* permet qu'en 1978, la ville chinoise de Qingdao lance la première installation d'un biodigesteur à grande échelle pour le traitement des boues de vidange et le programme chinois « Purifying Domestic Sewage Biogas Tank » est développé en 1984 par le Centre de Développement et Recherche de Biogaz Chengdu.

Le biogaz dans le monde

Aujourd'hui, la technologie biogaz connaît un essor important notamment **en Asie** où l'on compte des millions d'installations principalement domestiques. En effet, en 2014 selon le REN21(18), les cinq pays qui ont le plus d'installations dans le monde sont la Chine (avec près de 43 millions de réservoirs installés), l'Inde (4 750 000), le Népal (300 000), le Vietnam (180 000) et le Bangladesh (37 000). D'autres pays d'**Afrique** (comme le Burkina Faso, le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Rwanda, le Kenya, la Tanzanie) ou d'**Amérique Latine** (Colombie, Mexique, Pérou, Bolivie) diffusent des unités *biogaz* dans une moindre mesure par l'intermédiaire de programmes menés en grande partie par les deux principales organisations internationales qui développent la technologie biogaz que sont la SNV(19) (Organisation de développement des Pays-Bas) et la GIZ (Agence Allemande de Coopération Internationale).

En 2014 en Europe, EurObserv'ER (20) a dénombré près de 14 000 installations de méthanisation dont plus de 75 % utilisent des cultures énergétiques (essentiellement du maïs, des plantes crucifères comme le colza). Les autres utilisent les bouses, lisiers ou matières fécales humaines (pour le traitement des eaux usées), les déchets organiques divers (par récupération du méthane produit dans les décharges par exemple) ou les résidus agricoles. Les installations sont principalement de tailles « industrielles ». La croissance de ce secteur diffère selon les politiques menées par les pays bien que des initiatives européennes comme EBA (European Biogas Association) (21), Biogaz-Europe(22) (un forum annuel sur le biogaz en Europe) ou BioEnergyFarm (23) tentent de promouvoir le biogaz aussi bien industriel que domestique en Europe.

Le biogaz en Afrique

En Afrique, la méthanisation est beaucoup moins répandue (3 % du parc mondial), bien que diverses études montrent que plusieurs pays du continent auraient un réel potentiel pour cette technologie. En 2007, le Programme Biogas for Better Life – An African Initiative initié par SNV, a réalisé une étude(24) permettant d'estimer les opportunités de développement d'installations domestiques. La carte ci-contre présente une estimation du nombre de biodigesteurs qui pourraient être installés dans chaque pays en se basant sur le nombre de ménages qui disposent de suffisamment de bétails pour alimenter le réservoir avec les bouses, d'un accès à l'eau suffisant toute l'année pour diluer les intrants ainsi que des conditions climatiques adaptées à l'utilisation d'un biodigesteur. Ainsi, près de 18,5 millions de ménages en Afrique répondraient à ces critères. Dans ce rapport, d'autres paramètres (liés à la santé, l'IDH, l'accès à l'énergie et l'environnement) sont étudiés afin de mieux estimer le besoin et l'adaptabilité de la technologie *biogaz* dans chacun de ces pays.

Depuis cette étude, qui révèle un réel potentiel *biogaz* en Afrique, de nombreuses initiatives ont été développées dans plusieurs pays d'Afrique. Citons par exemple le programme ABPP (Africa Biogas Partnership Programme) mené par SNV(25) qui a permis d'installer à ce jour plus de 60 000 réservoirs en Afrique (et vise 100 000 installations d'ici fin 2018(26)) dont 15 000 en Ethiopie, 12 000 au Kenya, 12 000 en Tanzanie(27), 8000 au Burkina Faso, 7 000 au Rwanda¹³, 6000 en Ouganda et 1 300 au Sénégal.

Il existe aussi des initiatives industrielles. Citons par exemple le projet FasoBiogaz au Burkina Faso qui valorise les sous-produits de l'industrie agroalimentaire en électricité (550 kW injectés au réseau de la Société Nationale d'Electricité) et chaleur via un système de cogénération. Au Ghana(28), plusieurs usines de transformation (huile de palme, fruits, abattoirs, etc.) ont installé des unités biogaz. Citons par exemple l'entreprise HPW – transformation de fruits, qui produit près de 500 m³ de biogaz par jour grâce aux épiluchures ou l'entreprise GOPDC – production d'huile de palme, qui produit 18 000 m³ de biogaz par jour. Ces dernières valorisent le biogaz obtenu en chaleur sur le site de production. Par ailleurs, une étude(29) de la GIZ démontre que le pays dispose d'un potentiel très important dans ce secteur agro-industriel.

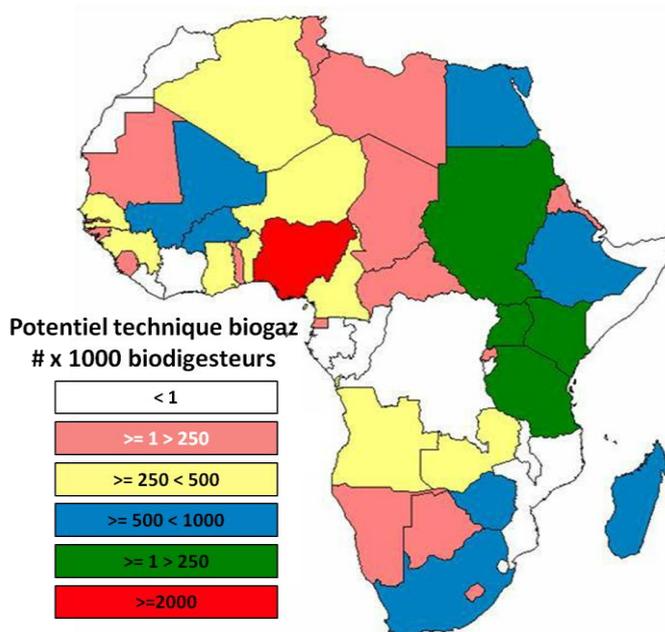


Figure 10 - Carte d'Afrique du potentiel technique biogaz

¹³ Biogaz au Rwanda, SNV : <https://www.youtube.com/watch?v=HTH6pv9DLHM>

2.3 Quelques aspects techniques(30)(31)

2.3.1 Processus et paramètres de réaction

La digestion anaérobie est la décomposition de la matière organique complexe par des bactéries dans un milieu sans oxygène. Cette digestion s'effectue en 4 étapes qui font chacune intervenir un groupe de bactéries particulières. Toute la matière non dégradée (et non dégradable) composera le digestat. La digestion des éléments par les bactéries produit du gaz appelé biogaz. Les phases de la digestion sont l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

La réaction de méthanisation est relativement sensible à divers paramètres que sont :

- La température : Plus la température est élevée, plus la production de biogaz est importante. Il est ainsi préférable d'installer des unités dans des zones aux températures moyennes (températures mésophiles entre 20°C et 40°C) ou même de chauffer le digesteur pour obtenir des températures plus élevées (températures thermophiles, entre 40°C et 70°C) ;
- Le pH : le pH idéal pour que le processus de digestion anaérobie soit optimum est compris entre 6.5 et 8.5.
- Le temps de rétention hydraulique (HRT : Hydrolic Retention Time) qui correspond au temps que doit passer la matière introduite dans le réservoir avant de ressortir en digestat et produire une quantité suffisante de biogaz ;
- Le ratio C/N qui est la relation entre la quantité de carbone (C) et celle de l'azote (N) dans le mélange et permet d'estimer un potentiel et une cinétique de dégradation de la matière organique.

Pour plus de détails, se référer à l'Annexe 8.1 de ce rapport.

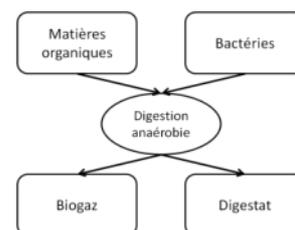


Figure 11 - Principe de la digestion anaérobie

2.3.2 Les intrants et extrants (biogaz et digestat) d'un biodigesteur

Les intrants

Pour initier la réaction, il est nécessaire, lors du lancement du biodigesteur, d'introduire des matières organiques qui contiennent déjà les bactéries qui réaliseront la réaction. Les bouses ou rumen de bovins sont idéals pour cela.

Une fois la réaction lancée, la quantité et la nature des matières organiques introduites ont une grande influence sur l'efficacité de la digestion. En effet, tous les déchets organiques ne peuvent pas constituer un gisement intéressant pour la méthanisation. Des études menées par divers organismes ont permis de mettre en évidence que chaque matière dispose d'un pouvoir méthanogène (en m³ de biogaz produit par tonne de matière introduite). Par exemple, le tourteau de colza a un pouvoir méthanogène très important de 350 m³/tonne introduite, la graisse d'abattoir de 175 m³/tonne introduite ou les déchets organiques ménagers de 75 m³/tonne introduite. (Pour plus d'information se référer au graphique du pouvoir méthanogène des intrants à l'Annexe 8.1)

Les extrants

Le biogaz

Comme présenté précédemment, le processus de méthanisation produit un gaz appelé biogaz majoritairement composé de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂).

Ce biogaz peut être valorisé comme tous les gaz classiques à condition d'utiliser les équipements adaptés ou d'effectuer un traitement préalable du biogaz (réduction du taux en eau, désulfuration, etc.).

Composants	Teneur (% - V/V)
Méthane - CH ₄	50 à 75
Dioxyde de Carbone - CO ₂	25 à 45
Sulfure d'Hydrogène - H ₂ S	< 1
Diazote - N ₂	0 à 6
Dihydrogène - H ₂	< 1
Dioxygène - O ₂	< 2
Composé organique volatil	dépend des intrants
Eau - H ₂ O	dépend de la température

Tableau 6 - Composition du biogaz



Figure 12 - Equivalent énergétique d'un m3 de biogaz

Le biogaz, dont le pouvoir calorifique varie de 6 à 6.5 kWh/m³ peut donc être directement brûlé pour produire de la chaleur (pour la cuisson, le chauffage, l'éclairage, etc.) ou transformer en électricité (avec perte de chaleur) via des générateurs adaptés. 1 m³ de biogaz (qui peut être produit par un biodigester domestique de 4 à 8 m³, selon la technologie, le remplissage quotidien, etc.) équivaut à la consommation d'environ 2 kg de bois ou de résidus agricoles ou 1 kg de charbon. On peut également noter qu'il faut environ 140 L (0,140 m³) de biogaz pour cuire 0,5 kg de riz à l'aide d'un *ricecooker* (cuiseur de riz).

Le digestat(32)(33)

Le digestat est la matière principalement liquide issue de la digestion des matières organiques introduites et diluées dans le biodigester. Sa composition et sa qualité dépendent donc naturellement des intrants. La réaction de méthanisation permet d'éliminer une grande partie des germes pathogènes et parasites présents dans les matières introduites (selon la température et le temps de rétention hydraulique). Par ailleurs, le digestat est un très bon fertilisant en terme de composition chimique élevée en Azote (N), Phosphore (P) et Potassium (K). La réaction anaérobie permet de « découper » les molécules et facilite donc leur absorption par les plantes. Pour son utilisation en tant qu'engrais, il peut être dilué et épandu liquide sur les cultures (fertilisant), séparé en deux phases (liquide et solide), séché ou composté avec des matières sèches pour obtenir un terreau (amendement). Les critères à étudier pour connaître la qualité du digestat sont essentiellement les taux en N, P et K, le ratio C/N, le pH et la quantité de matières impures ou contaminants pour les sols. Afin de maintenir la qualité du digestat et éviter l'évaporation des nutriments (surtout l'azote), il est conseillé de l'utiliser directement en sortie de biodigester ou de le composter afin de garder sa qualité. En cas de stockage liquide, il est alors conseillé de le stocker en fosse couverte.



Dans le cas où le digestat n'est pas valorisé, il faut s'assurer de le filtrer, décanter, pasteuriser voire traiter biologiquement ou chimiquement pour réduire les risques de pollution des eaux dans lesquelles il est rejeté. Cependant si le digestat n'est pas valorisé et a un coût de traitement, la méthanisation devient beaucoup moins rentable.

Des recherches et tests sont réalisés afin de mieux connaître les facteurs (intrants, traitement du digestat, quantité appliquée, types de culture, conditions météorologiques, etc.) qui permettent d'obtenir une réelle augmentation des rendements lors de la valorisation du digestat. Des documents comme « *Bioslurry : a supreme fertiliser. A study on bioslurry results end uses* » (34) publié par Hivos en 2014 vulgarise l'utilisation du digestat et met en évidence l'efficacité de ce dernier selon différents paramètres.

2.3.3 La valorisation et le stockage du biogaz

La valorisation du biogaz

La valorisation thermique

La chaleur émise par la combustion du biogaz est directement utilisée. Dans le cas d'un biodigester domestique, la chaleur est majoritairement utilisée pour la cuisson via des brûleurs adaptés (qui consomment entre 400 - 600 L de biogaz par heure) ou des *ricecookers* (cuiseurs de riz qui consomment 140 L/h) ainsi que pour l'éclairage via une lampe à biogaz (qui consomment 60 L/h).

Dans le cas d'une utilisation sur un site de traitement, la chaleur peut être utilisée pour maintenir la cuve du biodigester à la température de réaction idéale permettant le traitement d'un plus grand volume d'eaux usées. Dans le cas d'une utilisation sur un site industriel

Brûleur biogaz



Lampe à biogaz



(valorisation des graisses, etc.) le biogaz peut être utilisé dans le processus de production (chauffage, cuisson, production de vapeur, etc.)

La valorisation électrique (34)

Le biogaz alimente un moteur ou un groupe électrogène qui produit de l'électricité et de la chaleur (système de cogénération au rendement de 35 % pour la production d'électricité et de 85 % si toute la chaleur est valorisée). Dans ce cas, le biogaz doit être préalablement traité et épuré (réduction du taux de dioxyde de carbone, CO₂ et d'eau, H₂O pour obtenir un maximum de méthane, CH₄). L'électricité peut être exportée vers le réseau public ou réutilisée sur le site de production. La chaleur est en partie valorisée sur le site de production. Elle peut par exemple être utilisée pour chauffer le biodigesteur et maintenir la réaction dans les meilleures conditions ou dans le cas des usines agro-alimentaires (production d'huile, transformation de fruits, etc.) chauffer des aliments produits (pasteurisation, cuisson, etc.).



Valorisation en carburant

L'utilisation du biogaz en carburant n'est pas encore très répandue car elle nécessite un traitement conséquent du biogaz. Le premier pays à l'utiliser est la Suède puisqu'il existe des unités de production de biogaz carburant pour les transports en commun, les véhicules et même le train. En France, la ville de Lille a fait la promotion de l'utilisation du biogaz pour ses bus depuis 1990 grâce à la valorisation du biogaz produit par la station d'épuration de Marquette.

Le stockage du biogaz



La production de biogaz étant permanente alors que la consommation ne l'est pas forcément, il est souvent nécessaire de le stocker. Le biogaz peut être stocké sur une longue période sans subir de dégradation dans des espaces de stockage rigides ou flexibles qui résistent à la pression et qui sont étanches. La manière la plus simple de stocker le biogaz est un système à basse pression comme un ballon flexible externe au réservoir ou un dôme fixe ou flottant.



D'autres moyens de stockage plus difficiles à mettre en œuvre sont possibles comme le stockage à moyenne pression (5-10 bars) qui demande alors moins d'espace pour stocker le biogaz et un compresseur mono-étage.

2.3.4 Les modèles de biodigesteurs existants(35)(36)

Il existe plusieurs types de biodigesteurs. Nous ne présenterons ici que les biodigesteurs « humides » (en opposition à ceux qui traitent des matières sèches non diluées). Nous ne distinguerons pas non plus le mode de remplissage qui peut être continu (remplissage quotidien ou fréquent permettant un écoulement continu de la matière introduite) ou par fournée (*batch* - un unique remplissage et une vidange complète à chaque traitement). On peut ainsi distinguer deux grandes catégories de biodigesteurs qui sont les réservoirs maçonnés à dôme fixe, en bache ou flottant et ceux non maçonnés comme les réservoirs en fibre de verre, PVC ou flexibles.

Pour plus de détails sur chacune des technologies de biodigesteurs étudiées, se référer à l'Annexe 8.2.

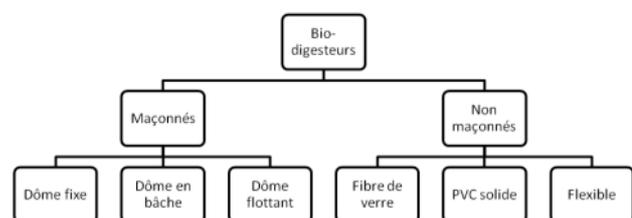


Figure 13 - Classement des modèles de biodigesteur

Le tableau ci-dessous propose une comparaison de ces différents modèles sur des critères prédéfinis pour le contexte de Madagascar.

Critères de comparaison	Modèles maçonnés				Modèles non maçonnés		
	Maçonné dôme fixe (béton)	Maçonné dôme fixe (bâche flexible)	Maçonné dôme flottant (solide)	Maçonné dôme flottant (bâche non flexible)	Fibre de verre	Plastic Tank (PVC)	Flexible
Disponibilité des matériaux localement	++	-	+	+	--	+	--
Coût du bio-digesteur (production / importation + installation)	--	+	-	+	-	++	+
Technicité de construction	-	+	-	+	+	++	++
Durabilité	++	-	+	-	+	-	--
Performance si variation de température	++	+	+	+	+	--	-
Production / pression biogaz	++	+	+	+	++	+	-
Besoin en maintenance	++	--	+	-	++	-	--

Tableau 7 - Comparaison des modèles de biodigesteur

Cette comparaison permet de conclure que les modèles maçonnés semblent mieux adaptés au contexte de Madagascar de par la possibilité de les construire majoritairement avec des matériaux locaux (sans besoin d'importation) et leur durabilité et performance (peu dépendants des intempéries ou conditions extérieures). En revanche, il faut noter l'importance du coût d'installation qui est aujourd'hui le frein majeur au développement de cette technologie.

2.4 Les impacts et facteurs clés de succès des installations biogaz

Les impacts de la technologie *biogaz*

Dans les pays en développement, où les problématiques environnementales, sociales et économiques sont majeures notamment à cause de la consommation de bois-énergie pour la cuisson, l'utilisation du biogaz et du digestat via l'installation de biodigesteurs familiaux apporte, dans certains cas, des solutions adaptées et durables.

Le déploiement de cette technologie permet d'obtenir :

- Des impacts économiques - aussi bien au niveau des ménages/opérateurs bénéficiaires par le gain de temps et la réduction des dépenses en combustibles, l'apport en engrais naturel qu'à celui de la zone ciblée par la création d'une dynamique économique locale ;
- Des impacts environnementaux par la réduction de la consommation du bois-énergie pour la cuisson et la valorisation de déchets organiques ;
- Des impacts sociaux par l'amélioration des conditions de vie des ménages et surtout des femmes (accès à une énergie locale et durable, réduction des pollutions intérieures, etc.) ;

Pour plus d'information sur les impacts de la technologie *biogaz*, une étude des impacts à Madagascar est proposée en Partie 3.4.

Les facteurs clés de succès des installations de biogaz

Avant de déployer un projet d'installation de biodigesteurs domestiques, il est essentiel de vérifier sa faisabilité et de s'assurer que les conditions sont réunies pour assurer son succès (appropriation des installations). Il faut alors d'étudier les facteurs clés de succès de la zone d'intervention qui sont principalement :

- Techniques : l'installation et l'utilisation d'un biodigesteur doit être techniquement faisable (conditions climatiques, présence d'intrants, matière première et main d'œuvre qualifiée disponibles, etc.) ;
- Économiques : l'installation de biodigesteurs doit être bénéfique pour l'économie de la zone d'intervention (création d'une dynamique économique locale) et au niveau du ménage (retour sur investissement) ;
- Sociaux : pour optimiser l'appropriation d'un biodigesteur, la situation sociale doit être difficile (maladies respiratoires, temps de collecte du bois, dépenses en combustible importantes, etc.) ;
- Environnementaux : une zone dans laquelle la pression sur la forêt est importante sera plus propice au déploiement d'un projet biogaz ;
- Institutionnels et politiques : les institutions concernées doivent être impliquées dans les domaines énergétiques et la conservation. La connaissance de la technologie et la mise en place de réglementation favorisant son développement sont importants.

Ces différents facteurs sont détaillés et évalués dans le cadre de l'étude de cas de Madagascar présentée en Partie 3.5.

2.5 Conclusion

La technologie biogaz et plus particulièrement les biodigesteurs domestiques se déploient à grande échelle dans les pays asiatiques depuis des décennies et font leur apparition sur le continent Africain depuis quelques années. Cette technologie multi-impacts est une solution adaptée pour les ménages et opérateurs ruraux des pays en développement car elle leur permet d'avoir accès, de manière gratuite (une fois les investissements remboursés), décentralisée et autonome à :

- Une énergie quotidienne durable et saine pour la cuisson et l'éclairage ;
- Un engrais naturel riche.

Ses multiples impacts (environnementaux, sociaux et économiques) sont bénéfiques à condition que la technologie soit bien appropriée par les bénéficiaires et qu'un dispositif de suivi-maintenance local soit mis en place. Pour qu'un projet de déploiement de cette technologie soit pertinent, il faut donc bien s'assurer que tous les facteurs clés de succès soient réunis ou prévoir des activités spécifiques pour les renforcer (l'appropriation des installations par les bénéficiaires, mesurer les impacts réalisés, etc.).

La partie suivante propose une analyse de la situation actuelle de la filière *biogaz* à Madagascar.

3 Capitalisation du secteur biogaz à Madagascar

3.1 Historique du biogaz à Madagascar et résumé de l'étude

3.1.1 Historique et introduction

Historique

Selon une étude menée par le WWF(37) en 2011, les premiers projets biogaz ont commencé à être introduits à Madagascar dans les années 60. Cette étude avait permis de recenser 99 unités pour 7 projets. Les réservoirs installés étaient majoritairement de taille familiale mais on trouvait également quelques réservoirs de 20-30 m³ (pour un hôpital, un centre d'hébergement universitaire ou la croix rouge). Les bénéficiaires étaient majoritairement des ménages, mais également des institutions ou des ONGs.

Sur les 99 unités recensées, 66 n'étaient plus fonctionnelles, c'est-à-dire que le biodigester n'était plus rempli depuis au moins 3 mois et que le bénéficiaire n'envisageait pas de relancer la production de biogaz dans le mois à venir. Aucune raison précise n'est citée quant aux raisons des abandons de ces installations.

Un projet d'installation de 15 000 unités faisant appel au MDP (Mécanisme de Développement Propre, un outil de finance carbone) était en préparation mais n'a pas abouti. La filière biogaz n'étant pas encore très développée à Madagascar, outre cette étude de WWF, il n'existe que très peu de données statistiques et bibliographiques.

Introduction de l'étude

Cette étude, menée par Etc Terra dans le cadre du Projet Biogaz DIANA, a permis de recenser 414 biodigesteurs dont 400 installations domestiques et 14 installations d'assainissement en milieu urbain ou périurbain. Selon les acteurs interrogés, entre 90 % et 95 % des installations domestiques seraient fonctionnelles et 78 % des installations de traitement de déchets organiques (essentiellement des boues de latrines) seraient encore en fonctionnement (11 sur 14).

Les échanges menés avec les opérateurs et projets identifiés ont permis de comprendre le contexte de déploiement des biodigesteurs et de mettre en évidence les forces et faiblesses de la filière *biogaz* à Madagascar.

Dans cette partie, nous présenterons dans un premier temps les activités menées par tous les opérateurs et projets identifiés durant cette étude. Nous verrons ensuite les impacts économiques, sociaux et environnementaux de la technologie biogaz dans le contexte de Madagascar ainsi que les facteurs clés de succès d'un déploiement d'un projet *biogaz* à plus grande échelle. Enfin, une analyse de la filière à Madagascar et des recommandations seront proposées.

3.1.2 Cartographie des installations recensées

La carte ci-dessous présente la répartition des biodigesteurs à Madagascar ainsi que le taux de fonctionnalité de ces installations¹⁴. Elle permet de mettre en évidence que le plus grand nombre des constructions se situe sur les Hauts-Plateaux, dans les régions Haute-Matsiatra (202 biodigesteurs), Vakinankaratra (93 biodigesteurs) et Analamanga (36 biodigesteurs). Le taux de fonctionnalité global est relativement bon puisqu'il serait compris entre 83 % et 93 %.

L'Annexe 8.4 donne le détail des données utilisées pour la réalisation de cette carte.

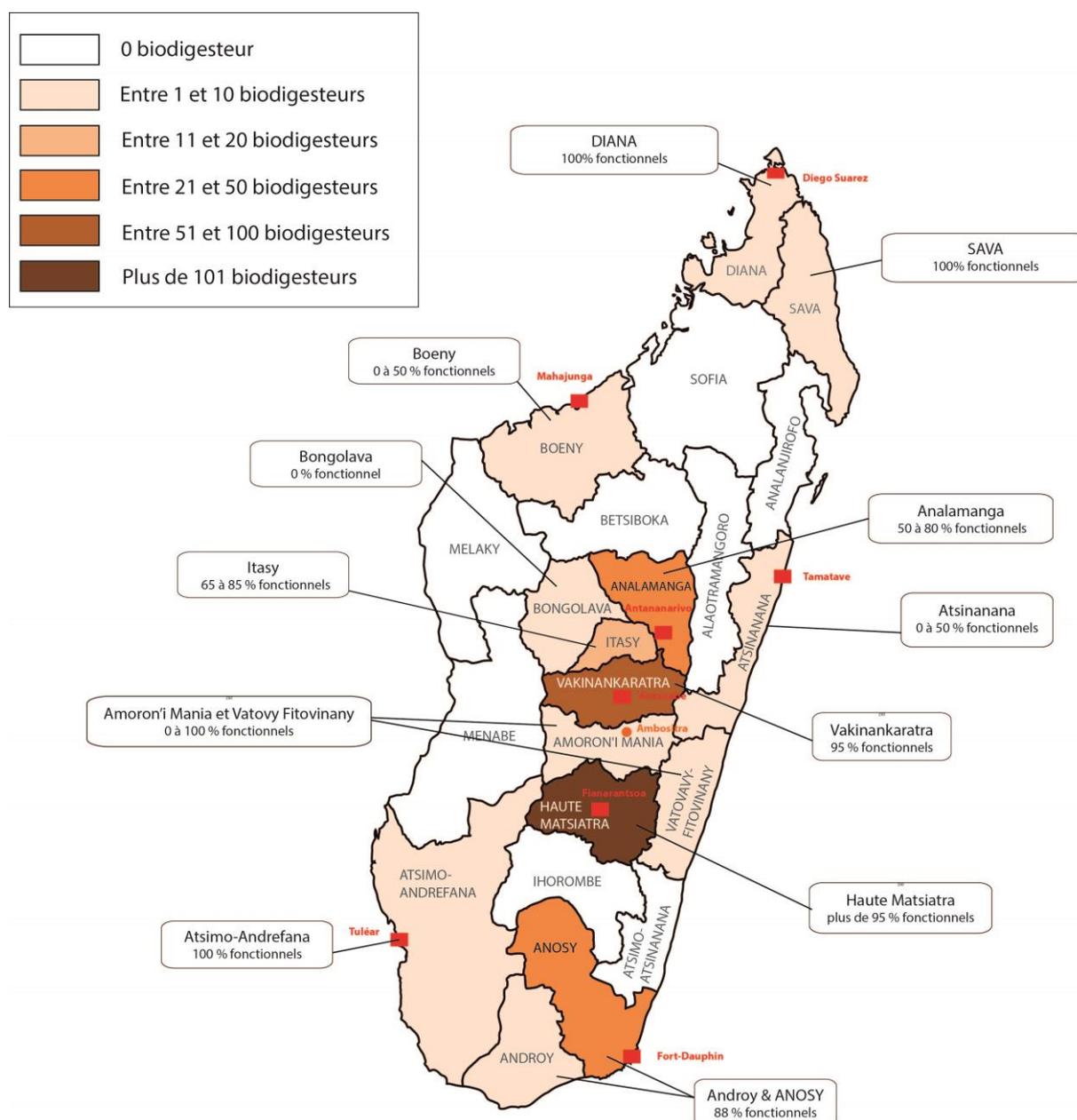


Figure 14 - cartographie des biodigesteurs installés à Madagascar

¹⁴ Les données utilisées pour sa réalisation sont les informations fournies par les opérateurs et projets rencontrés durant cette étude. Ces dernières n'ont pas été vérifiées sur le terrain.

3.2 Les acteurs de la filière biogaz

3.2.1 Typologie et présentation générale des acteurs biogaz

Trois types d'acteurs de la filière biogaz ont été identifiés.

- Les « **opérateurs** » sont les organismes (ONGs ou entreprises) qui construisent ou commercialisent des installations biogaz à Madagascar. Ils ont déjà réalisé des travaux d'installation de biodigesteurs et possèdent le savoir-faire.
- Les « **projets** » sont les organismes (ONGs, institutions, etc.) qui ont déjà réalisé un ou plusieurs réservoirs biogaz à Madagascar en partenariat avec un opérateur. Il s'agit de projets de biodigesteurs domestiques (dont les intrants sont majoritairement des excréments animaux, mais pourraient être les boues de latrines ou déchets organiques du ménage bénéficiaire) ou communautaires de traitement de boues de latrines ou de déchets ménagers (à collecter, prétraiter et déverser dans le biodigesteur).
- Les « **utilisateurs** » sont les individus ou organismes qui sont responsables de l'utilisation et de la maintenance des biodigesteurs. On peut distinguer deux catégories d'utilisateurs :
 - Les ménages qui sont utilisateurs mais la plupart du temps ne maîtrisent pas tous les aspects de la maintenance des installations et qui nécessitent donc une assistance pour maintenir le bon fonctionnement du digesteur.
 - Les organismes qui peuvent être des opérateurs d'assainissement et ou des communes et qui maîtrisent a priori la maintenance des installations.

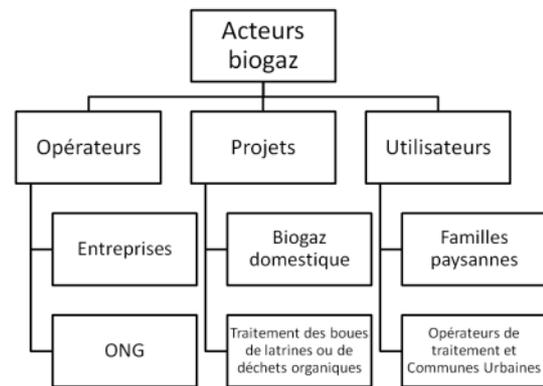


Figure 15 - Acteurs dans le secteur biogaz

3.2.2 Les opérateurs biogaz

Introduction

7 opérateurs ont été identifiés et sont présentés ici. Parmi eux on dénombre :

- 3 entreprises (ARAFa, ASENSE et Sistema.bio) ;
- 2 ONG ou associations (FAFAFI, JIRO/Biogasy) ;
- 1 institution publique (CNRIT).

Ces opérateurs proposent des technologies biogaz variées et ont choisi différents modes de diffusion de leur modèle de biodigesteur.

Les **opérateurs-entreprises** (ASENSE, ARAFA, Sistema.bio) proposent leurs biodigesteurs en vente directe auprès de clients finaux (ménages ruraux ou périurbains qui payent la totalité des installations) ou travaillent avec des projets menés par des ONG qui n'ont pas le savoir-faire et souhaitent déployer la technologie dans une zone ciblée. Bien que leurs clients soient majoritairement des ONGs, ces entreprises ne bénéficient pas directement de subventions pour que leur modèle économique soit viable.

Les **opérateurs-ONG** (JIRO/Biogasy, FAFAFI) ou associations qui sont en mesure de réaliser les constructions mènent leur propre projet de diffusion de biodigesteurs, qu'il s'agisse de réservoirs familiaux ou d'unités de traitement. Ces associations ont recours à des subventions qui ne sont que très ponctuellement gouvernementales et majoritairement issues de fonds d'aide internationale.

Pour tous les **projets d'installation de biodigesteurs familiaux**, les ménages bénéficiaires, en plus de respecter certains critères (nombre de zébus, accès à l'eau, surface disponible pour la construction, etc.), doivent collecter les matières premières nécessaires à la construction (sable, gravier, briques), participer aux travaux d'installation et pré-collecter les quantités recommandées de bouses et d'eau pour le démarrage du digesteur. Seuls quelques ménages ont également amené un apport financier supplémentaire. Aucune participation gouvernementale n'a été recensée pour ces installations domestiques.

Concernant les **projets de traitement** des boues de latrines ou déchets organiques, les opérateurs travaillent directement avec les ONG ou associations en charge du projet qui sont

financées par des subventions internationales et reçoivent ponctuellement un support des communes ou institutions locales bénéficiaires.

Tous les opérateurs recensés ont initié leur activité après l'année 2008, sauf le CNRIT qui travaille sur le sujet depuis la fin des années 1980. De plus, en dehors de l'entreprise Sistema.bio qui n'a pas de personnel à Madagascar, tous ont une équipe de gestion et des techniciens locaux en mesure de réaliser les constructions.

Bien que le nombre d'installations à Madagascar ait presque triplé depuis 2011, il reste relativement faible par rapport à d'autres pays en développement d'Afrique et surtout d'Asie. Par ailleurs, ces constructions sont géographiquement ciblées (cf. carte Partie 3.1.2) car les organismes qui ont réalisé le plus de réservoirs travaillent par zone d'action.

- FAFABI, qui a réalisé 292 biodigesteurs, soient 73 % des réservoirs domestiques à Madagascar, travaille à Fianarantsoa, Antsirabe et Fort-Dauphin.
- L'entreprise ASENSE qui est en mesure de construire des biodigesteurs partout sur l'île a commercialisé une près de 40 % de ses installations dans les environs d'Antananarivo (car les bénéficiaires sont plus en mesure de financer la totalité du réservoir) ;
- JIRO a construit ses 27 biodigesteurs dans la région de Fianarantsoa.

Les opérateurs présentés ici apparaissent par ordre décroissant du nombre de biodigesteurs construits à Madagascar. Une fiche de présentation plus complète pour chacun d'entre eux est proposée en Annexe 8.5.

FAFAFI

Présentation de FAFAFI

FAFAFI (Fanentanana Fambolena Fiompiana qui signifie Campagne Agriculture Elevage) est une ONG (association confessionnelle) créée en 1989 qui œuvre essentiellement dans les domaines de l'agriculture, l'élevage et l'environnement. FAFAFI dispose de 3 entités relativement indépendantes dans le déploiement de leurs activités qui sont situées à Antsirabe, Fianarantsoa et Fort-Dauphin. Le siège est à Antananarivo.

Au milieu des années 2000, FAFAFI avait lancé un projet de diffusion de biodigesteurs flexibles *low-cost* (cf. description du modèle flexible en Annexe 8.2) en bâche plastique. Malheureusement, à cause de la qualité trop faible du matériel, les 50 unités ne sont plus fonctionnelles.

En 2012, Amity Foundation¹⁵, une fondation chinoise, propose à FAFAFI de former ses techniciens à la construction et la maintenance d'un modèle de biodigesteur durant 7 semaines en Chine. C'est ainsi que depuis Novembre 2012, l'association promeut et installe des biodigesteurs maçonnés à dôme fixe à Madagascar.

A ce jour, FAFAFI est l'opérateur qui a installé le plus de biodigesteurs domestiques à Madagascar, puisque 292 ménages (87 par l'entité d'Antsirabe, 179 par celle de Fianarantsoa et 26 par celle de Fort-Dauphin) ont été équipés depuis 2012.

Le modèle de biodigesteur proposé par FAFAFI

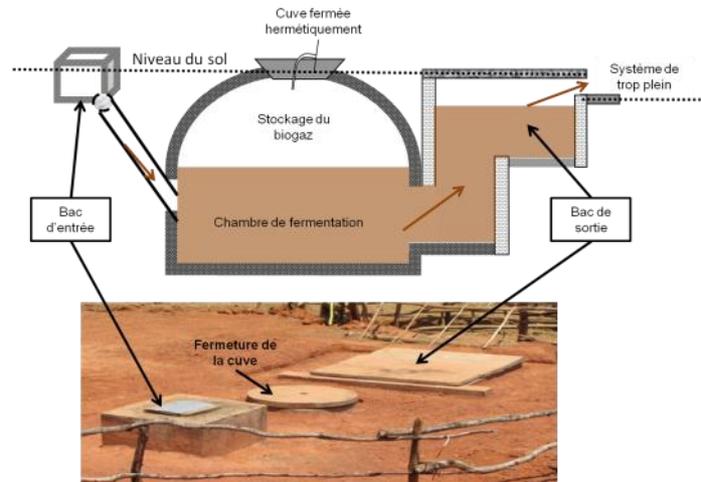
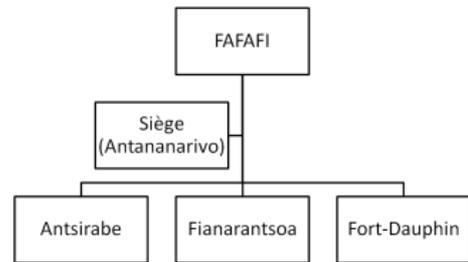


Figure 16 - Schéma de principe du biodigesteur FAFAFI

boues pour 90 L d'eau) permettent de produire en moyenne 1,3 m³ de biogaz par jour. Une surface de 7 x 4 = 28 m² est nécessaire pour son installation.

Les réservoirs biogaz proposés par FAFAFI sont construits à l'aide d'un moule fabriqué localement (en tôle, fer plat, barres à mines et fer rond) qui permet de couler le béton de la voûte de la cuve.

Pour réaliser un réservoir, deux maçons qualifiés et 4 à 15 mains d'œuvres non qualifiées (selon les étapes) doivent travailler entre 7 et 14 jours. La mise en route du réservoir peut prendre quelques jours à quelques semaines selon la qualité et quantité des boues collectées par les ménages.



FAFAFI propose des biodigesteurs maçonnés à dôme fixe bétonnés de 10 m³ ou 30 m³. Ces biodigesteurs sont entièrement enterrés et disposent d'un bac de remplissage, d'une cuve centrale (chambre de fermentation et stockage du biogaz), d'un bac de sortie du digestat et d'un système de trop plein permettant l'évacuation du digestat lors de la production de biogaz. Le biodigesteur de 10 m³ possède une capacité de stockage du biogaz d'environ 4 m³ et de digestat (bac de sortie) de 2 m³. Les intrants hebdomadaires recommandés (60 L de



¹⁵<http://www.amityfoundation.org/eng/>

Mode de diffusion des biodigesteurs

FAFAFI est un « opérateur » biogaz dans le sens où l'organisation dispose du savoir-faire et de la main d'œuvre pour construire des biodigesteurs. Par ailleurs, l'ONG est également un « projet » dans le sens de l'étude puisqu'elle finance et mène des projets d'installation de biodigesteurs auprès de ménages ruraux.

Sélection des bénéficiaires

Les potentiels bénéficiaires biogaz sont identifiés parmi les bénéficiaires d'autres projets menés par FAFAFI (agriculture ou élevage) ou dans les zones de ces projets. Pour bénéficier d'un réservoir ils doivent répondre à des critères préétablis obligatoires (nombre de zébus, accès à l'eau, surface disponible pour la construction, etc.) et optionnels (nombre d'habitants dans le ménage, enfants scolarisés, etc.). Des visites de sites fonctionnels sont organisées pour mesurer la motivation des potentiels bénéficiaires.

Financement des réservoirs

FAFAFI demande aux ménages un apport en nature. Les bénéficiaires sont chargés de (i) collecter ou d'acheter le sable, le gravier, les briques en argile cuites nécessaire à la construction du réservoir, (ii) préparer la fosse avant le début du chantier, (iii) mettre de la main d'œuvre à disposition pendant les travaux et (iv) collecter les bouses et eau nécessaire à l'initiation de la réaction. Aucun apport financier supplémentaire n'est demandé aux ménages bénéficiaires à ce jour.

Les 75-80 % restant (autres matériaux de construction, terminaux de cuisson et d'éclairage, main d'œuvre et techniciens FAFAFI) sont entièrement financés par le projet et donc par les subventions obtenues de la Fédération Luthérienne Mondiale, la Société de la Mission Norvégienne ou de CODEGAZ pour les constructions de l'entité de Fianarantsoa.

Formation des bénéficiaires

Les ménages sélectionnés reçoivent une formation via des visites de site en fonctionnement (avant sa sélection finale), la participation à l'installation du biodigesteur, l'organisation régulière de réunions d'utilisateurs par zone et des formations délivrées par FAFAFI sur l'utilisation du réservoir et des terminaux.

Accompagnement et suivi

Pour chaque zone du projet, un technicien de zone est désigné parmi les utilisateurs et formé en profondeur par FAFAFI sur les aspects de maintenance des réservoirs. Il est chargé de suivre les autres bénéficiaires de sa zone. En cas de problème plus « grave », il a la possibilité de joindre FAFAFI qui peut se déplacer pour assurer une maintenance ou une formation de manière ponctuelle.

En dehors de ces appels ponctuels, les techniciens de l'organisme profitent de leur déplacement dans les villages dans lesquels FAFAFI réalisent des projets d'autres natures (agricole, élevage) pour réaliser des visites aux ménages bénéficiaires de biogaz. En revanche, FAFAFI ne dispose d'aucun budget pour le suivi des bénéficiaires et ne réalise donc pas de suivi régulier particulier des bénéficiaires.

Les installations réalisées et perspectives

Entité	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL	2018 (prévision)
Antsirabe	3	4	77	3	0	0	87	
Fianarantsoa	4	13	86	18	33	25	179	25
Fort-Dauphin	0	0	03	15	08	0	26	
DIANA	0	0	0	0	0	0	0	20
TOTAL	7	17	166	36	41	25	292	

Tableau 8 - Biodigesteurs installés par FAFAFI

Depuis fin 2016, seule l'entité de Fianarantsoa, qui bénéficie de financements de la part de CODEGAZ, continue d'installer des biodigesteurs et prévoit d'en construire l'année prochaine. Les deux autres entités sont à la recherche de nouveaux financements pour relancer leur projet.

ASENSE

Présentation générale

ASENSE est une entreprise (SARL) créée en 2012 qui propose des solutions d'énergie renouvelable. L'entreprise commercialise des installations solaires, hydroélectriques, éoliennes et des biodigesteurs auprès de particuliers ou d'ONG qui souhaitent déployer des projets d'énergie renouvelable. Elle travaille à Madagascar, à Maurice et au Comores.

A Madagascar, l'entreprise dispose d'un magasin à Antananarivo et de 9 employés permanents. L'entreprise est autofinancée et n'a pas recours à des subventions.

ASENSE a initialement été formée par l'entreprise chinoise Chengdu Datangren Biogaz Technology Development Co. qui a réalisé une étude de faisabilité biogaz à Madagascar durant 2 ans. Maintenant, ASENSE importe son matériel de Chine auprès de plusieurs fournisseurs et commercialise les biodigesteurs, réalise les installations et forme les clients à la bonne utilisation et maintenance des réservoirs et terminaux. Depuis le lancement de cette activité biogaz, l'entreprise a installé plus de 70 biodigesteurs dans de nombreuses régions de Madagascar pour une utilisation domestique (financés par des particuliers, des ONG ou des institutions) ou pour le traitement de boues de latrines (financés par des projets et des institutions).

Le modèle de biodigesteur

ASENSE propose des biodigesteurs maçonnés à dôme fixe en bâche. Actuellement, l'entreprise ne propose qu'un modèle de 8 m³ (qui peut être mis en série pour le traitement d'un volume plus important). Le biodigesteur est semi enterré et nécessite une surface de 16m² pour son installation. Le biodigesteur est composé d'une cuve centrale de 4,3 m³, d'un bac d'entrée et d'un bac de sortie du digestat de 0,6 m³. Il possède une capacité de stockage du biogaz entre 3 m³ et 5 m³. Les intrants quotidiens recommandés (10 kg de bouses pour 10 L d'eau) permettent de produire en moyenne 1 m³ de biogaz par jour.

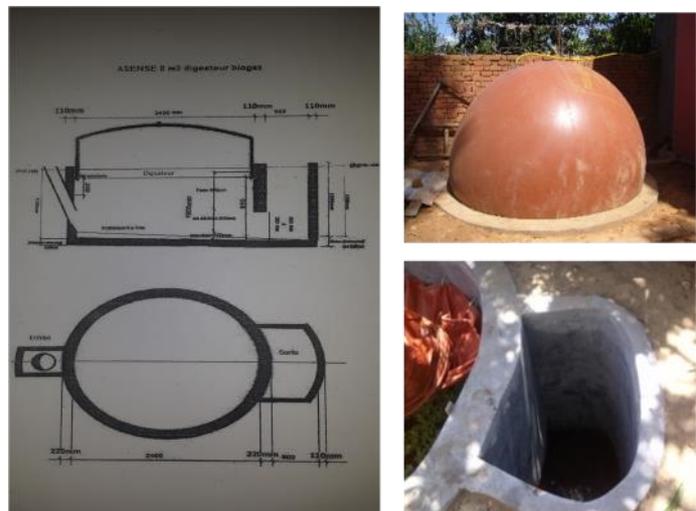


Figure 17 - Plan du biodigesteur ASENSE



Le biodigesteur ASENSE se construit en 5 jours à l'aide de 2 maçons spécialisés et 3 mains d'œuvre non qualifiées. Sa mise en route s'étale sur 1 à 4 semaines selon les conditions climatiques et la fraîcheur des bouses introduites. Enfin, le dôme en bâche ainsi que les équipements du kit ASENSE obligatoire (tuyaux et raccords, booster pompe pour l'acheminement du biogaz jusqu'aux terminaux, purificateur du biogaz muni d'un

manomètre et un séparateur gaz-eau) sont installés.

Mode de diffusion des biodigesteurs

ASENSE est une entreprise d'installation de biodigesteur qui commercialise ses biodigesteurs à des particuliers ou des ONG et associations.

Afin d'assurer la bonne installation des réservoirs et limiter tout problème technique dû à des erreurs de construction, ASENSE impose d'être le superviseur de la construction (maçonnerie et installation des équipements) et de la mise en route.

Ces activités sont facturées sous forme de per diem et frais de déplacement des techniciens.

L'entreprise propose également des formations des bénéficiaires finaux à la gestion et la maintenance des biodigesteurs ainsi qu'aux impacts environnementaux et à la valorisation du digestat. Des coûts additionnels sont à prévoir.

Sélection des bénéficiaires

L'entreprise n'impose pas de critères de sélection du bénéficiaire final, mais recommande qu'ils disposent de suffisamment de matières premières (intrants) et un accès à l'eau à proximité, qu'ils démontrent une réelle motivation et reçoivent une formation complète à l'utilisation et la maintenance du réservoir et des terminaux.

Financement des biodigesteurs

Le financement du biodigesteur est entièrement à la charge du client (du particulier ou de l'ONG). Ce dernier doit se charger

- D'un apport en nature (achat des matériaux de construction – sable, gravier, briques, ciment, etc., préparation de la fosse, collecte des matières premières à introduire pour la mise en route du biodigesteur) ;
- D'un apport financier pour l'achat du matériel à importer (bâche, kit ASENSE) et les frais et perdiems de la supervision des installations et de la formation du bénéficiaire.

Dans le cas d'un projet de diffusion de biodigesteurs avec une ONG, c'est l'ONG qui détermine la répartition de ces apports entre le projet et le bénéficiaire. Les frais et services sont adaptables en fonction des besoins du projet.

Formation des bénéficiaires

ASENSE propose une formation des bénéficiaires qui présente les bénéfices de l'utilisation d'un biodigesteur (biogaz et digestat) pour le ménage et l'environnement ainsi que sa bonne gestion (remplissage, gestion de la production de biogaz, sécurité, etc.).

Accompagnement et suivi

ASENSE n'offre pas, dans le prix de vente du système, d'accompagnement ou de suivi des bénéficiaires afin d'être en mesure de proposer des prix accessibles. En revanche, elle est en mesure d'assurer des visites de site et des appuis techniques sur demande s'ils sont pris en charge par le client.

La formation initiale permet normalement aux bénéficiaires d'assurer la maintenance de base du réservoir. De plus, un outil de suivi des activités liées à l'utilisation et la maintenance des installations pour faciliter le suivi des installations est proposé aux ménages.

Les installations réalisées à Madagascar

Depuis le lancement de ces activités à Madagascar, ASENSE a installé plus de 70 biodigesteurs dans 10 des 22 régions. C'est le seul opérateur qui a déjà travaillé dans plus de 3 régions différentes.

En tant qu'entreprise, ASENSE n'effectue pas de suivi systématique de ces clients et ne connaît donc pas avec précision le taux de fonctionnalité des biodigesteurs installés, qui est estimé à 80 %.

Les perspectives

En 2018, ASENSE proposera un nouveau modèle de biodigesteur flexible de 8 m³ qui n'exigera aucune imperméabilité de la cuve maçonnée (difficulté majeure rencontrée lors des constructions du 1^{er} modèle). Par ailleurs, l'entreprise commercialisera également des sacs de stockage du biogaz pour faciliter le stockage d'une éventuelle surproduction et le transport du biogaz dans le cas de projets communautaires par exemple.

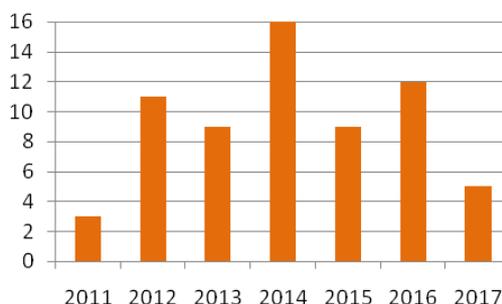


Figure 18 - Nombre de constructions réalisées par ASENSE par année

JIRO/Biogasy

Présentation générale

L'Association JIRO sans appartenance politique ou religieuse, créée en 2009 et la SARL Biogasy créée en 2010, basées à Fianarantsoa, sont dirigées par Hélié Marchand (fondateur) et ont pour objectif « d'améliorer les conditions de vie de la communauté paysanne par la production d'une énergie renouvelable, le biogaz ». Leurs activités principales sont :

- La sensibilisation de la population au biogaz comme source de combustible alternatif (diffusion d'outils pédagogiques, organisation de réunions villageoises, visite du site vitrine de l'association, intervention dans les milieux scolaires, etc.) ;
- L'installation de biodigesteurs chez des agro-pasteurs (depuis 2014) ;
- La recherche et développement (R&D) pour réaliser un système de production de carburant à partir de biogaz pour l'alimentation d'un moteur à biogaz.

Hélié Marchand, qui est également le technicien biogaz de la structure, s'est essentiellement formé sur le terrain, et en s'appuyant sur les volumes I (*Biogas Basics*) et II (*Application and Product Development*) d'un guide spécifique biogaz produit par la GIZ(38). L'association a développé de nombreux partenariats opérationnels pour la sensibilisation (Bel Avenir, Universités de Fianarantsoa, des coopératives locales, etc.) et le développement de nouveaux projets (le Relais, ARAFA, etc.). Enfin, depuis 2014, JIRO a installé 27 biodigesteurs chez des familles d'agro-pasteurs de la région de Fianarantsoa, en grande partie grâce au financement de CODEGAZ de la Fondation ENGIE.

On désignera par la suite l'association JIRO et la SARL Biogasy par « JIRO ».

Le modèle de biodigesteur

Actuellement, l'association installe chez les familles bénéficiaires un modèle de biodigesteur maçonné semi-enterré à dôme flottant en bâche. Elle propose quatre tailles de réservoir : 6 m³, 7 m³, 8 m³ ou 9 m³ qui nécessitent d'avoir une surface d'environ 10 m². Ils produisent entre 1 m³ et 1,4 m³ de biogaz par jour (pour les mêmes capacités de stockage). Une tôle entoure le dôme afin de protéger la bâche du rayonnement solaire et des intempéries. Des briques sont posées sur cette tôle pour faire un contre poids qui permet un stockage du biogaz produit en pression (de l'ordre de 20 mbar). Le bac de sortie du digestat est de 100 L. Les intrants quotidiens recommandés sont de 30 kg de bouses et 40 L d'eau.

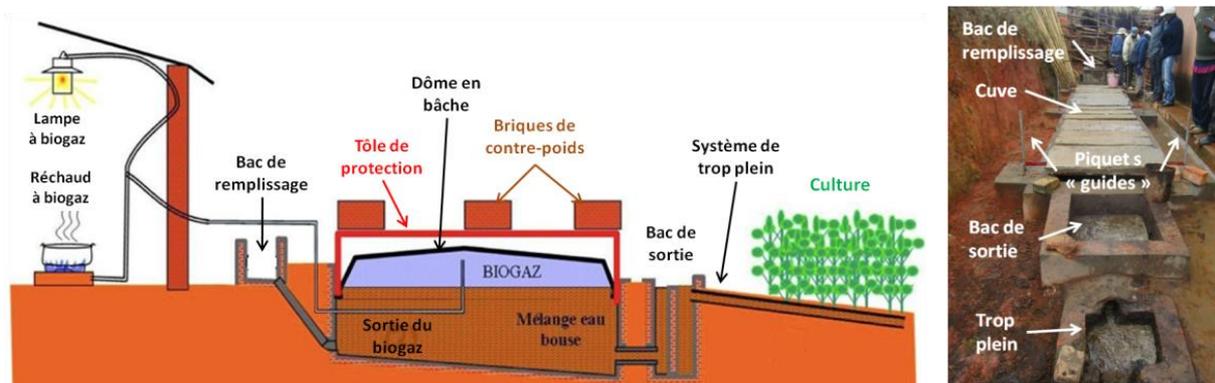


Figure 19 - schéma de principe de fonctionnement du biodigesteur JIRO

Pour réaliser un réservoir, deux maçons qualifiés, 4 mains d'œuvres non qualifiées doivent travailler une dizaine de jours pour le gros œuvre. Par la suite, un technicien biogaz viendra réaliser les installations du réseau et du gazomètre (bâche).

Le biodigesteur est rempli au $\frac{3}{4}$ d'eau pour vérifier son étanchéité puis $\frac{1}{4}$ de bouses. Le remplissage quotidien (ratio 1:1) peut commencer. Le temps d'initialisation de la réaction varie selon les conditions extérieures et la qualité de la biomasse introduite.

Mode de diffusion des biodigesteurs

Comme l'organisation FAFABI, JIRO est un « projet » et un « opérateur » biogaz puisqu'elle gère des projets d'installation et réalise les travaux d'installation.

Sélection des bénéficiaires

Grâce à son expérience, JIRO a établi une liste précise de critères techniques à respecter pour pouvoir bénéficier d'un réservoir (nombre de têtes de bétails, proximité d'une source d'eau, etc.). L'aspect le plus important pour l'association reste la motivation des potentiels futurs bénéficiaires pour assurer l'appropriation et la durabilité des biodigesteurs. Avant chaque installation, un contrat est établi entre JIRO et le bénéficiaire pour déterminer les obligations de chacun et confirmer de manière formelle les engagements.

Financement des biodigesteurs

Les bénéficiaires participent à hauteur de 20-25 % du digesteur au travers d'apports en nature. Ils doivent fournir une partie des matériaux de construction (gravier, briques, sable), de la main d'œuvre ainsi que les repas des maçons durant les travaux. Aucun apport financier n'est demandé. Les 75-80 % restants sont entièrement assurés par le projet et donc par les subventions obtenues des partenaires. La majorité des réservoirs construits aujourd'hui ont été subventionnés par CODEGAZ, de la fondation ENGIE.

Formation des bénéficiaires

Avant l'installation du réservoir, les familles sont invitées à visiter le site vitrine pour comprendre le fonctionnement du biodigesteur. Ils reçoivent également les plaquettes de sensibilisation et d'utilisation des réservoirs, majoritairement illustrées pour faciliter leur compréhension.

La participation à la construction des réservoirs permet aux familles d'être formées à la maintenance et l'utilisation d'un biodigesteur. Par ailleurs, une fois le biodigesteur installé, ces dernières reçoivent une formation à l'utilisation des terminaux de cuisson. Enfin, JIRO propose des affiches et brochures en langue locale pour l'entretien et la maintenance des installations.

Accompagnement et suivi

Aucun budget n'ayant été prévu pour le suivi et la maintenance des installations, JIRO rend uniquement visite aux ménages bénéficiaires qui sont à proximité du site vitrine. En revanche, les membres de l'association restent joignables par téléphone et peuvent se déplacer sur demande en cas de problème. Enfin, lorsqu'une pièce doit être changée, le ménage est responsable des frais d'achat de cette dernière.

Les installations réalisées à Madagascar

L'association a déjà installé 27 biodigesteurs à Fianarantsoa dont 3 entre 2010 et 2013, 6 en 2014 et 12 en 2015 et 6 depuis 2016. Tous les biodigesteurs installés sont fonctionnels.

Les perspectives

JIRO souhaite développer ses activités et notamment la sensibilisation de la population à l'utilisation du biogaz et les installations de biodigesteurs domestiques. Pour cela, JIRO recherche de nouveaux financements. L'association souhaite aussi diversifier ses activités par exemple en proposant des biodigesteurs pour des cantines scolaires ou structures hôtelières, valorisant le biogaz émis sur les sites de traitement des déchets, etc. La recherche et développement pour la valorisation du biogaz en carburant et le filtrage du biogaz par voie biologique sont aussi des pistes à suivre.

Enfin, JIRO souhaite mettre en place une ferme-école intégrée qui maximiserait les bénéfices du biodigesteur en circuit le plus fermé possible.

CNRIT

Présentation générale

Le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) est un établissement public à caractère scientifique, technique et économique (EPIC) créé en 1987 et réorganisé en 1992. Il est placé sous la tutelle technique du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupRES) et sous la tutelle financière du Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget (MEFB).

Le Centre a pour mission de participer à l'élaboration et la conduite de la politique nationale de recherches pour le développement (innovation, valorisation des ressources locales, adaptation des technologies étrangères, etc.) et leurs applications pour un développement durable (appui aux opérateurs, renforcement des capacités, diffusion d'informations, etc.). Le CNRIT a un effectif de 110 employés composés de cadres administratifs, de chercheurs enseignants et de personnels d'appui (ingénieurs, techniciens et ouvriers). Il travaille essentiellement avec les centres de

recherches nationaux, des bailleurs nationaux comme la fondation environnementale malgache Tany Meva¹⁶ ou internationaux comme la FAO ou USAID par le biais de projets antérieurs..

Le département *biogaz* fait partie du département énergétique et est composé de 12 employés permanents qui sont majoritairement issus de l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo et Antsiranana (Diego-Suarez) et des lycées techniques de Madagascar. Ces derniers sont régulièrement mandatés par des opérateurs biogaz pour réaliser de la sous-traitance sur des aspects techniques en consultation. Le département est un des premiers opérateurs à avoir réalisé des installations biogaz à Madagascar.

Bref historique du CNRIT dans le secteur biogaz

Lors de sa création, certains membres de la cellule biogaz du CNRIT ont bénéficié de formations en Suisse, en Inde et en Chine sur la construction des biodigesteurs. Depuis, le transfert de compétences s'effectue entre eux au sein du département.

Les premiers biodigesteurs installés par le CNRIT ont été construits entre 1986 et 1988 dans le cadre du projet « Technologie de Biogaz » réalisé en partenariat avec la FAO dont l'objectif était de développer des technologies biogaz à Madagascar. Pour ce faire, le CNRIT installait des biodigesteurs de volume de 8, 11 et 15 m³ à cloche flottante auprès de familles d'agro-pasteurs dans les régions de Bongolava, Vakinankaratra et Analamanga.

Depuis le CNRIT a installé 5 réservoirs entre 11 m³ et 30 m³ avec différents partenaires. En 1994 (ANAE), 2005 (Port Fluvial de Tamatave), 2013 (projet EAST), 2014 (CRS Madagascar) et 2017 (ferme familiale Mamy à Toamasina).

Désormais, le CNRIT souhaite développer ses biodigesteurs selon 3 axes :

- La satisfaction des besoins énergétiques des ménages (faible consommation d'énergie et petit volume de digesteur) et l'approvisionnement en digestat de leur culture ;
- La satisfaction des besoins énergétiques des grands consommateurs d'énergie comme les cantines scolaires (cas croix rouge Antsirabe), les cantines des employés du Port Fluvial de Toamasina ;
- L'assainissement et l'amélioration des lieux publics par la valorisation énergétique des latrines publiques dans l'optique de diffuser la technologie de biogaz et d'éradiquer la défécation à l'air libre.

Le CNRIT dispose d'un savoir-faire pour l'installation d'un modèle de réservoir maçonné (enterré ou non) à dôme flottant rigide (en tôle plane noire) de volumes compris entre 11 m³ et 30 m³ qui nécessitent une surface de 16 m² à 25 m² et d'une profondeur variant de 50 cm à 3 m selon la hauteur de la nappe phréatique. Son expérience lui permet aujourd'hui d'adapter le modèle de digesteur selon la place disponible et les besoins du bénéficiaire.

Les modèles de biodigesteurs

Le CNRIT dispose d'un savoir-faire pour l'installation d'un modèle de réservoir maçonné (enterré ou non selon la profondeur des nappes phréatiques) à dôme flottant rigide (en tôle métallique plane noire) de volumes compris entre 11 m³ et 30 m³.

Les biodigesteurs et terminaux (brûleurs à biogaz pour la cuisson) proposés par le CNRIT sont entièrement conçus et construits sur place par le CNRIT et ne nécessitent aucune importation supplémentaire. Le Centre travaille également à la recherche sur l'utilisation du digestat en réalisant des analyses et des tests d'amélioration de rendements et de pollution des sols due à une mauvaise utilisation de ce dernier.

Mode de diffusion des biodigesteurs

En tant que EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et commercial), le CNRIT n'est pas agréé à la vente directe de matériel. Le Centre doit réaliser une activité de transfert de connaissance et de compétence à un bénéficiaire mais ne peut uniquement commercialiser un système. Le CNRIT travaille avec différentes entités pour la mise en place des biodigesteurs. Il met en place des biodigesteurs auprès de ménages, des structures institutionnelles ou des projets de traitement de déchets organiques au niveau d'un marché, d'un Fokontany, d'une Commune, etc.

¹⁶<http://www.tanymeva.org/>

Les partenaires

Le CNRIT est placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupRES) – tutelle technique et le Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget (MEFB) - tutelle financière.

Il travaille avec les centres nationaux de recherches pour le partage et la diffusion d'information ainsi qu'avec les organismes qui sous-traitent certains aspects techniques de leur projet d'installation de biodigesteurs.

Les installations réalisées à Madagascar

Depuis le lancement de ses activités, le CNRIT a construit 12 biodigesteurs à Madagascar en partenariat en partenariat diverses ONGs et institutions.

Partenaires	Nombre installations	Année	Volume cuve	Bénéficiaires	Fonctionnalité
Projet FAO	7	1987-1989	15 m ³	Ménages	30 % (2 / 7)
Croix Rouge	1	1989	25 m ³	Cantine	Oui
ANAE	1	1994	11 m ³	Cantine	Oui
Port Tamatave	1	2005	20 m ³	Port fluvial	Non
EAST	1	2013	30 m ³	CU/SAMVA	Oui
CRS	1	2014	15 m ³	Ménage	Non
Ferme Familiale Mamy	1	2017	45 m ³	Ferme d'élevage	Oui

Tableau 9 - Biodigesteurs installés par le CNRIT

Les installations réalisées avec le FAO destinées à des ménages ruraux, dont les intrants étaient des bouses de zébus et lisier de porcs, sont en grande majorité non-fonctionnels (5/7) à cause des problèmes d'insécurité et de vol de zébus de la zone et donc de l'insuffisance d'intrant pour leur bon fonctionnement. Parmi les autres installations, seul le réservoir du port fluvial de Tamatave (à cause du manque d'implication de l'administration locale) et le ménage du projet CRS ne sont pas fonctionnels.

L'installation réalisée en 1994 en partenariat avec ANAE qui avait pour objectif de réduire l'utilisation du bois-énergie d'une cantine scolaire est toujours fonctionnelle. Enfin, l'installation réalisée en partenariat avec EAST avait pour objectif de traiter les boues de vidange et d'assainir un quartier de la CU d'Antananarivo.

Le CNRIT a installé un biodigesteur de 45 m³ pour une ferme à Tamatave qui souhaite valoriser les bouses des vaches laitières et des fientes des poules pondeuses élevées et traiter les eaux résiduaires de la ferme. Le système est fonctionnel pour les besoins énergétiques de la ferme (cuisson repas personnel et des vaches laitières) ; production d'eau chaude, etc.

Les perspectives

Actuellement, le CNRIT réalise des formations des étudiants qui préparent des mémoires sur le thème du biogaz ainsi que des associations qui travaillent dans le domaine environnemental qui englobe le processus de production de biogaz à partir de différents types de biomasse ainsi que le dimensionnement d'unité à partir de la loi d'équivalence « **Ressource et Besoins** ». Par ailleurs, le Centre réalise également de la recherche sur le domaine de l'assainissement par la valorisation des déchets fermentescibles (cas des latrines) ainsi que des consultances auprès de divers projets environnementaux.

Le CNRIT souhaite essentiellement travailler en support aux communes urbaines et rurales pour la mise en place de réservoir permettant la valorisation des déchets fermentescibles, la réduction des pollutions dues à la défécation à l'air libre, l'assainissement de l'environnement de la commune bénéficiaire et la production d'un engrais biologique.

Sistema.bio

Présentation générale et historique de Sistema.bio

Sistema.bio est une entreprise sociale créée au Mexique en 2010. Son fondateur, Alex Eaton, a travaillé 10 ans au sein de l'ONG IRRI (Institut International de Ressources Renouvelables) à la diffusion (production, installation, opération, maintenance et suivi) de biodigesteurs flexibles chez des petits producteurs agricoles avant de créer sa propre entreprise, Sistema.bio. A ce jour, l'entreprise a déjà installé plus de 3 500 biodigesteurs en Amérique Latine (Mexique, Nicaragua,

Cuba, Pérou, Bolivie et Colombie), en Inde et en Afrique (Ghana, Kenya, Tanzanie, Ouganda, Nigeria, Sénégal et Madagascar).

L'entreprise, dont la vision est « un monde durable, équitable, empathique et sans déchet » souhaite répliquer son modèle d'entreprise sociale rentable et à forts impacts dans de nouvelles régions du monde. Sistema.bio installe surtout des biodigesteurs pour des petits agriculteurs mais travaille aussi avec des gouvernements, des universités ou des ONGs.

Le modèle de biodigesteur

Sistema.bio a développé son propre modèle de biodigesteurs flexibles et a déposé un brevet. L'entreprise propose 11 volumes de biodigesteurs allant de 4 m³ à 40 m³ de contenance liquide.

Les biodigesteurs sont livrés en kit complet et préassemblé composé des éléments présentés dans le schéma ci-contre.

Le réacteur est fabriqué en géomembrane de polyéthylène à basse densité linéaire (LLDPE) de à 1,5 mm d'épaisseur afin d'assurer une longue durée de vie (20-35 ans) même dans des conditions difficiles et en étant exposée au rayons UV.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques techniques de 4 tailles de réservoir.

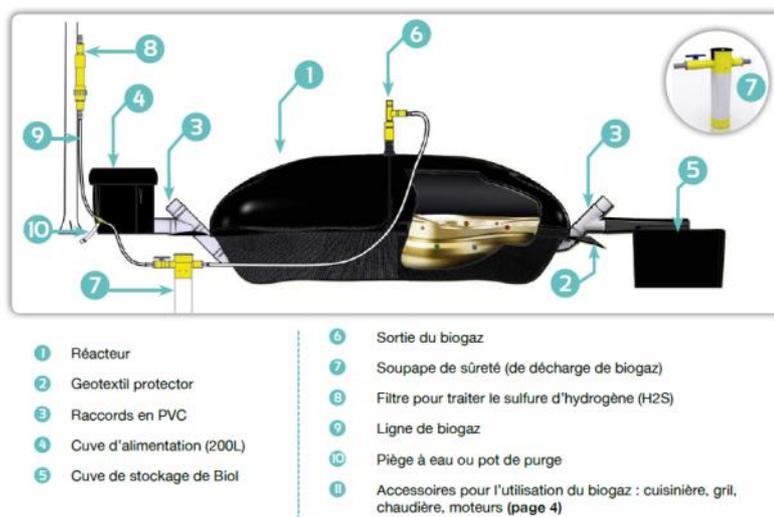


Figure 20 - Schéma de principe du biodigesteur Sistema.bio

Volume du réservoir (m ³)	6 m ³	10 m ³	14 m ³	20 m ³
Capacité biogaz (m ³)	2,3	3,8	5,4	7,7
Apport journalier requis en bouse (kg) pour une température comprise entre 15 et 23°C	34	64	83	127
Apport journalier requis en eau (L)	90	180	240	360
Stockage digestat (digesteur + sortie) (m ³)	8,3+0,5	13,8+1	19,4+1	27,7+1,5

Tableau 10 - Modèles de biodigesteurs Sistema.bio

Dans 90 % des cas, l'installation du système ne nécessite aucune maçonnerie mais uniquement l'excavation d'une tranchée dans laquelle sera positionné le réservoir en 3 heures avec l'aide de 2 techniciens. Des guides d'installation et mise en route et d'utilisation et de maintenance illustrés et détaillés sont distribués aux bénéficiaires qui sont alors en mesure de réaliser toutes les activités de base sur les installations. Tout le matériel dont les terminaux de cuisson proposés par l'entreprise sont produits dans sa propre usine située au Mexique.



L'entreprise réalise diverses activités de recherches et développement aussi bien sur la technologie que sur la valorisation du digestat en partenariat avec des organismes spécialisés tels que l'IRRI ou des programmes nationaux de diffusion de biogaz (Sénégal ou Nicaragua).

Mode de diffusion des biodigesteurs

En tant qu'entreprise, Sistema.bio commercialise ses systèmes sans subvention. Elle a développé un programme en 6 étapes qui permet d'assurer la durabilité des installations commercialisées auprès de paysans¹⁷ :

1. Des séances de démonstration et des visites de sites sont organisées pour convaincre de potentiels nouveaux clients des bénéfices du système ;
2. Pour chaque nouveau client potentiel, un diagnostic et un plan de financement est établi (paiement comptant, prêt auprès d'une IMF, etc.) au préalable pour déterminer le modèle le plus adapté et les bénéfices de l'installation
3. Le système choisi est produit dans les usines de l'entreprise ;
4. Le système est installé chez le client ;
5. Les clients reçoivent (dans les zones de présence de l'entreprise) 3 visites de suivi à 1, 3 et 6 mois après l'installation pour assurer la formation du client, le fonctionnement technique du système et réaliser des mesures d'impacts qui sont documentées ;
6. Ce processus permet la création d'un réseau de paysans satisfaits qui permet un déploiement à plus grande échelle en réalisant des visites de site, etc.

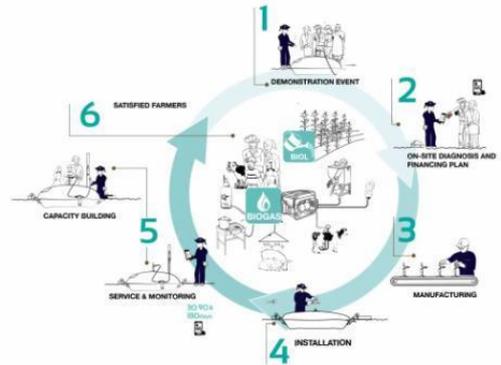


Figure 21 - Modèle de diffusion des biodigesteurs Sistema.bio

Les installations réalisées à Madagascar

Madagascar, l'entreprise a réalisé une installation de 160 m³ (4 réservoirs de 40 m³) à Antananarivo pour un projet de traitement des boues de vidange mené par WSUP et CARE (décrit en Annexe 8.6.2), à ce jour l'installation la plus conséquente de l'île en volume.

Les perspectives

L'entreprise sociale Sistema.bio souhaite étendre son impact au travers de la diffusion de sa technologie dans de nouvelles zones. Pour ce faire, elle souhaite ouvrir des filiales locales ou former des opérateurs locaux afin d'assurer un suivi rapproché du développement des activités dans chaque localité. Le développement des nouveaux bureaux de Sistema.bio au Kenya permet d'implémenter de nouveaux projets dans la région d'Afrique de l'Est et de l'Océan Indien. Sistema.bio cherche à créer de nouveaux partenariats avec des associations et des ONGs actives dans la région pour permettre l'accès à la technologie de biodigestion aux communautés d'Afrique de l'est et en particulier à Madagascar.

ARAFA

Présentation générale et historique

ARAFA est une entreprise sociale (SARL de droit malgache) qui travaille essentiellement dans les domaines de l'eau, l'assainissement et les énergies renouvelables. Elle souhaite déployer des solutions simples, locales et adaptées au contexte de Madagascar tout en développant les compétences locales et valorisant les ressources disponibles sur l'île.

ARAFA travaille avec des particuliers, des communautés ou associations locales, des bureaux d'étude, des ONGs, des acteurs du secteur privé (BTP, promoteurs immobiliers, groupes agroalimentaires).

Le financement initial de l'entreprise social a été réalisé par les actionnaires et par l'intermédiaire de *crowdfunding* pour le lancement de projets pilotes. Depuis la fin de l'année 2016, la vente des produits et la réalisation de projets ont permis à l'entreprise d'atteindre un équilibre financier qui permet de réinvestir dans le développement de nouvelles activités.

¹⁷ Voir la vidéo : <https://youtu.be/P3LPN0wk6f4>

Modèle de biodigesteur

ARAFA propose plusieurs modèles de biodigesteurs :

- Un modèle à dôme fixe en briques et étanchéité en crépis et béton, le dôme étant une dalle en béton armée horizontale ;
- Un modèle en fibre de verres pour des installations sur mesure et légères déplaçables, en collaboration avec SMTP ;
- Un modèle utilisant les cubitainers (IBC) de 1 m³ ;
- Le modèle à dôme flottant proposé en partenariat avec Biogasy.

Pour Madagascar, ARAFA préconise d'utiliser le modèle à dôme fixe (plus robuste) ou le modèle proposé en partenariat avec Biogasy (également robuste et fabriqué de manière artisanale et locale, présentée précédemment).

Nous ne présentons ici que le modèle à dôme fixe en béton armé. Le modèle déjà installé à Madagascar a un volume de cuve total de 4 m³ pour un stockage de biogaz maximum de 500 L. Afin d'optimiser le stockage de biogaz et mieux gérer sa consommation, l'entreprise propose une option de rajout d'un sac de stockage externe du biogaz. La surface nécessaire pour son installation est d'environ 15 m² mais le design peut être adapté à l'espace disponible. L'apport quotidien recommandé pour ce biodigesteur est de 30 L d'eau et 30 L de bouses. L'intérieur de la cuve est séparé par un mur suspendu.

La cuve principale est fermée hermétiquement par une dalle en béton horizontale.

La construction mise en route d'un biodigesteur

Les matériaux de construction nécessaires à l'installation du modèle à dôme fixe en béton armé proposé par ARAFA sont du sable, du gravier, des briques en terre cuite, du ciment, de l'imperméabilisant, des barres de fer et des planches de coffrage. La construction nécessite également des rondins de bois pour la mise en place d'un échafaudage.

Elle s'effectue en trois phases principales : étude du terrain, construction et tests et mise en route. La durée des travaux et le besoin en main d'œuvre dépend de la taille du réservoir construit. Les installations proposées par ARAFA sont garanties 12 mois.

Les terminaux proposés sont les brûleurs classiques (simple, double) et le ricecooker.

La valorisation du digestat

ARAFA souhaite faire du digestat un extrait aussi important que le biogaz auprès des paysans bénéficiaires et réalise ainsi de nombreux tests pour démontrer la valeur ajoutée de son utilisation. L'entreprise forme ses bénéficiaires à la valorisation du digestat.

Enfin, selon la configuration du client et des installations, ARAFA peut également proposer l'installation d'un filtre naturel à plantes horizontal directement relié à la sortie du biodigesteur qui permet le recyclage direct des nutriments en végétaux utiles. L'eau en sortie est épurée et peut être réutilisée pour diluer les bouses à introduire dans le biodigesteur.

Le mode de diffusion des biodigesteurs

ARAFA étant une entreprise, elle propose ses produits à des particuliers, qui financent majoritairement la totalité de l'installation ou à des projets menés par des ONGs. L'entreprise propose un système de suivi rapproché la première année en organisant des visites ou appels téléphoniques des clients tous les 3 mois pour capitaliser sur les problèmes rencontrés et mettre en place une amélioration continue, etc.

Les partenaires d'ARAFA

ARAFA travaille en partenariat avec Bourbon Bâches (Réunion) pour l'approvisionnement en bâches mais également sur un projet de soudure de réservoirs souples pour du stockage de biogaz. L'entreprise est également partenaire de l'entreprise Biogasy afin de capitaliser sur leurs expériences et s'associer pour la réalisation de projets.

Concernant les institutions, les Ministères concernés (Eau et Assainissement, Energie) sont sollicités pour des projets d'adduction ou de biogaz. L'ONE (Office Nationale de l'Environnement) est également impliquée dans le cas où l'obtention d'un permis environnemental est exigée. Enfin,



les représentants des Communes et Fokontany sont systématiquement consultés afin d'obtenir leur approbation avant le lancement des travaux.

Les installations réalisées

ARAFa a déjà installé 2 réservoirs à dôme fixe à Madagascar. Une installation pour son site vitrine à Antananarivo, ainsi qu'une installation du biodigester maçonné de 4 m³ pour un ménage à proximité d'Antananarivo.

Perspectives

Un projet de biodigester à dôme fixe d'un volume de 10 m³ est en cours pour le CEFFEL à Antsirabe. ARAFA a remporté, en partenariat avec l'entreprise Biogasy, l'appel d'offres de la première phase de déploiement du projet Biogaz DIANA mené par le consortium Etc Terra et OSDRM pour l'installation de 40 biodigesteurs de type Biogasy en 2018. D'autres projets sont en cours de lancement.

3.2.3 Les projets biogaz réalisés

Introduction

10 organismes qui ont réalisés ou réalisent des projets majeurs dans la filière biogaz à Madagascar ont été recensés.

- 3 projets de biodigesteurs domestiques (FAFAFI, JIRO, GIZ)
- 7 projets communautaires de traitement des boues de latrines ou de déchets organiques (EAST, WHH, GRET/ENDA-OI, CICR, WSUP/CARE, LOOWATT, CNRIT, PATMAD)

Les **projets de biodigesteurs domestiques** sont principalement menés par des opérateurs-ONGs (FAFAFI et JIRO) présentés dans la partie précédente. Seule la GIZ initie un projet d'installation de biodigesteurs familiaux dans la région DIANA et fait appel pour cela au savoir-faire de l'entreprise ASENSE présentée dans la partie précédente.

Les **projets de traitement des eaux usées ou déchets ménagers** sont majoritairement financés et menés par des ONGs internationales (EAST, WHH, GRET/ENDA-OI, CICR, WSUP/CARE) ou locales (PATMAD) qui font appel à des opérateurs présentés dans la partie précédente pour l'installation des réservoirs. En dehors de la station de traitement installée par le consortium WSUP/CARE (160 m³), les installations sont de petites ou moyennes tailles (15 m³ à 40 m³). 6 des 8 organismes ont mis en place un système de traitement des boues de latrines pour un projet de traitement des déchets d'un marché (WHH) et un projet de traitement des épiluchures de fruits d'une sécherie (PATMAD).

La suite de cette partie présente brièvement chacun de ces projets. Pour plus de détails sur ces initiatives, se référer à l'Annexe 8.6.

Les projets de réservoirs domestiques

En dehors des opérateurs présentés précédemment, seule la GIZ déploie un projet pilote de biodigesteurs domestiques par l'intermédiaire de son projet PAGE.

PAGE/GIZ (détails en Annexe 8.6.1)

La GIZ, acteur majeur de la protection de l'environnement et du développement rural à Madagascar, a renforcé un Projet d'Appui à la Gestion de l'Environnement (PAGE) en 2015 dont l'objectif global est « l'amélioration des conditions pour une protection et utilisation durables des ressources naturelles à Madagascar par les acteurs pertinents » dans les régions DIANA, BOENY et ATSIMO ANDREFANA. Suite à une première phase bibliographique sur les énergies alternatives en combustibles (résidus agricoles, déchets organiques, etc.), la GIZ a décidé de déployer un projet de diffusion de foyers améliorés (détaillé dans l'Annexe 9.1.3) ainsi qu'une phase pilote de tests de faisabilité pour la diffusion de combustibles alternatifs dont la technologie biogaz et l'utilisation de briquettes produites à partir de poussière de charbon et de balles de riz dans la région DIANA.

Trois ménages ruraux utilisant le bois-énergie pour la cuisson ont été sélectionnés par le projet pour bénéficier d'un biodigesteur ASENSE. S'agissant d'une phase pilote de tests, le projet a financé la totalité des installations. Les bénéficiaires ont uniquement participé à la construction et ont été formés à l'utilisation et la maintenance de base du biodigesteur.

Depuis, des mesures de consommation et de satisfaction sont menées par le projet afin d'évaluer les impacts de la solution, l'appropriation des réservoirs, la pertinence de la technologie pour les ménages ruraux de la région, etc. Le projet prévoit de publier un rapport de capitalisation d'ici la fin de l'année 2017 pour présenter les résultats obtenus et proposer un plan de déploiement à plus grande échelle.

Les projets de traitement des eaux ou boues de latrines (détails en Annexe 8.6.2)

LOOWATT

Présentation générale et historique du projet

A Madagascar depuis 2012, Loowatt est une entreprise sociale qui propose des systèmes de toilettes hygiéniques innovants. Les excréments de ces toilettes sont collectés une à deux fois par semaine et déversés dans un biodigesteur (site de traitement) pour valorisation en biogaz et digestat. Ainsi la solution proposée permet de fournir un service qui apporte une solution d'assainissement digne et confortable et valorise les excréments humains, matière première riche en énergie et engrais et inexploitée.

Après une phase de prototypage (Etape 1), une phase pilote de compostage et digestion à petite échelle (Etape 2), une adaptation de la solution via l'amélioration de la gestion d'un site de toilettes

publiques (Etape 3), l'entreprise a conçu et construit, en partenariat avec Detong (constructeur chinois), son propre site de traitement anaérobie de ces boues de latrines à Antananarivo (Etape 4).

Aujourd'hui, l'entreprise souhaite démontrer la faisabilité et la viabilité technico-économique d'un système d'assainissement semi-centralisé en zone urbaine. Loowatt traite 1.5 tonnes d'intrants par semaine : les excréments collectés de 60 toilettes (40 %), 500 kg de déchets organiques collectés à proximité (30 %) et 30 % d'eaux usées récupérées sur le site.

Le projet impacte des bénéficiaires directs (ménages de la classe moyenne bénéficiaires des services de toilettes et les collecteurs Loowatt - emplois formalisés par l'entreprise) et indirects (utilisateurs du biogaz et de l'engrais produits par la station de traitement et commercialisés et les citoyens du voisinage qui bénéficient d'un environnement assaini par les activités du projet).

Quelques aspects techniques

L'ensemble du dispositif choisi par Loowatt est construit hors sol et est entièrement amovible. Il est composé de 3 conteneurs de 20 pieds standards qui servent (1) aux activités de mélanges des boues et déchets organiques et de remplissage du système, (2) de corps au digesteur (contient le réservoir principal de 24 m³ en inox, le sac de stockage du biogaz de 30 m³ en PVC est extérieur à la cuve) et (3) à la logistique des bidons de vidange et à la gestion informatique du site. Des cuves de stockage de 5 m³ en PEHD permettent la prédigestion des intrants avant leur pasteurisation ainsi que leur maturation en sortie de la cuve principale.

Le modèle dispose également d'un système de contrôle qui permet la gestion des flux (circuit d'eau chaude, mélangeur de la cuve principale, mesures de données, etc.).

Modèle économique de la solution

Les installations ont été financé par la Bill & Melinda Gates Foundation tandis que les opérations sont financées par les revenus de l'entreprise (services de collecte des boues des toilettes Loowatt, commercialisation du digestat, composts et énergie produits sur le site).

Actuellement, le site de traitement est géré par l'entreprise sociale elle-même. Il n'est pas prévu qu'un transfert de compétences soit organisé pour le moment.

Loowatt mène ce projet dans l'objectif de démontrer la rentabilité d'un système de traitement des boues de latrines semi-centralisé. Ainsi, tout est mis en œuvre pour rechercher les solutions optimales à la durabilité du projet (aspects technique et économiques, sociaux et environnementaux) afin de pouvoir être répliqué à plus grande échelle.

GRET/ ENDA OI – Projet MIASA

Historique et présentation du projet

Le GRET a lancé en Mars 2012 le projet MIASA (Mise en œuvre d'Amélioration des Services d'Assainissement adaptés à l'agglomération d'Antananarivo) en partenariat avec ENDA OI, les Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA), de Tanjombato et d'Ampitatafika et les 5 Fokontany d'intervention qui s'est terminé en Décembre 2016. Les objectifs du projet étaient : (i) d'équiper des ménages en toilettes, (ii) de mettre en place une solution d'évacuation et de transport des boues de latrines et (iii) d'assurer le traitement et la valorisation de ces boues. ENDA OI était chargée d'accompagner les vidangeurs tandis que le GRET, porteur du projet, était responsable de la mise en place des stations de traitement des boues de vidange. Le projet a été financé par l'Union Européenne, le Grand Lyon, Véolia eau et l'AFD.

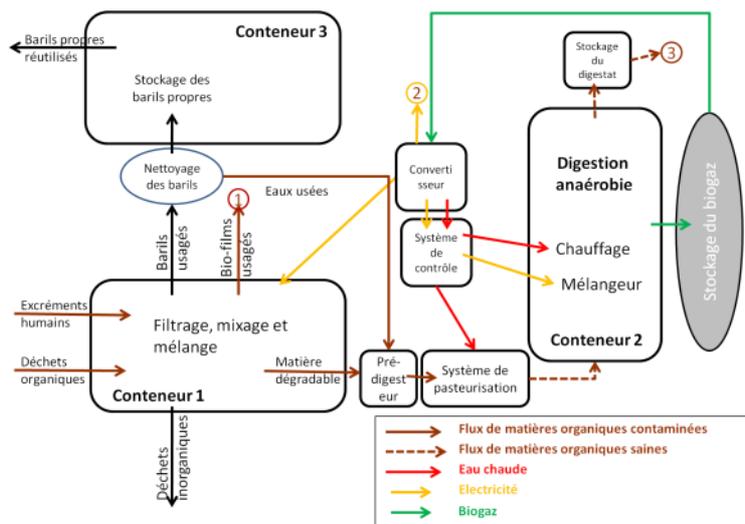


Figure 22 - Schéma de principe de fonctionnement du site de Loowatt

Une fois les terrains d'installation des stations d'épuration identifiés et les permis environnementaux obtenus, le GRET a choisi de former des professionnels privés, avec le soutien du partenaire Bio-Eco, à la construction des stations d'épuration. Les vidangeurs formés par ENDA OI sont chargés de collecter et livrer les boues sur les sites de traitement et paient alors une taxe à la station. Un gestionnaire a été formé par le GRET aux aspects techniques et de gestion afin de le rendre autonome.



Quelques aspects techniques des installations réalisées

Les stations d'épuration installées par le projet MIASA sont chacune constituées de 4 biodigesteurs maçonnés enterrés de 10 m³ à dôme fixe (cloche en fibre de verre de 1,2 m³ chacune) selon la technologie PUXIN. Les trois premiers biodigesteurs sont connectés pour recevoir les boues de latrines déversées dans le bac de remplissage. Le 4^{ème} est relié à chacun de ces biodigesteurs par effet gravitaire et permet un traitement raffiné des eaux par un système de filtre biologique (matière plastique de forte surface spécifique 300 m²/m³). Le bassin de stockage en sortie du 4^{ème} biodigesteur a un volume de 1 ou 2 m³ selon les sites.

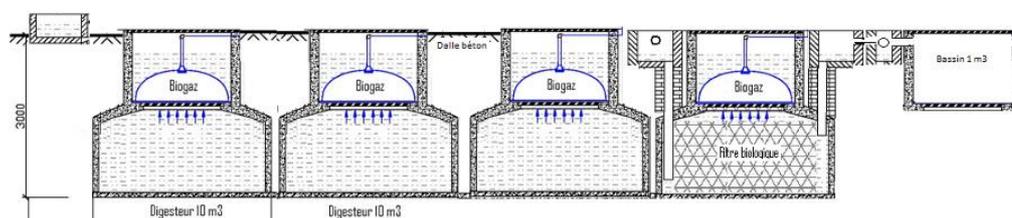


Figure 23 - Plan des installations de biodigesteur du GRET

Le biogaz produit est actuellement valorisé sur le site pour l'éclairage et la cuisson du gardien. La phase liquide du digestat est diluée et rejetée dans les cours d'eau avoisinant. La phase solide du digestat est séchée par l'intermédiaire de séchoirs solaires. Bien que les résultats des tests réalisés par le GRET sur l'utilisation du digestat produit soient intéressants, ce dernier n'est pas encore commercialisé.

Modèle économique de la solution

Aujourd'hui, les stations ne sont pas viables économiquement et le GRET souhaite trouver des nouveaux financements pour continuer leur appui et pérenniser la situation.

EAST

Présentation et historique du projet

EAST (Eau, Agriculture et Santé en milieu Tropical) est une OSI (Organisation de Solidarité Internationale) créée en 1986 dont l'objectif principal est d'aider les collectivités rurales et périurbaines d'Afrique (Mali, Sénégal, Bénin, Togo, Madagascar) et d'Asie (Vietnam) à faire régresser les grandes endémies liées à la consommation d'eau insalubre et au manque d'hygiène. Présente à Madagascar depuis 2006, EAST intervient principalement dans le domaine de l'accompagnement sanitaire et social de la Commune Urbaine (CU) d'Antananarivo au travers de projet d'infrastructure (bornes fontaines, bassins lavoirs, WC, latrines communautaires, etc.), d'information et d'Education et Communication (sensibilisation de la population à l'hygiène, etc.). Depuis 2011, l'organisation travaille sur un projet d'assainissement et d'amélioration de la qualité de l'eau et de l'environnement du lac Masay et des quartiers périphériques du III, IV et Vème arrondissement d'Antananarivo. Elle a mené diverses activités dont la mise en place de deux stations d'épuration des boues de latrines par méthanisation à Antananarivo.

- En 2013, une station d'épuration munie d'un biodigesteur de 30 m³ dans le quartier de Manjakaray, au nord d'Antananarivo, près du lac Masay (Projet 2013) en partenariat avec le CNRIT ;
- En 2016, une station d'épuration munie de 5 biodigesteurs de 10 m³. (Projet 2016) en partenariat avec l'IMV et Practica ;

Pour ces deux projets, des associations de vidangeurs ont été formées et professionnalisées. Du matériel leur a été fourni (pompes, citernes, matériels de protection, etc.). Un prestataire biogaz a été mandaté pour la construction des stations. L'objectif principal est le traitement des boues de vidange collectées par les associations de vidangeurs. Les eaux doivent être saines en sortie du

processus afin d'être rejetées. La valorisation du biogaz et du digestat sont des objectifs secondaires permettant d'assurer la viabilité des stations (valorisation et commercialisation). Ils ont été financés par l'AFD, la Région Ile-de-France et l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN).

Projet 2013

Fonctionnelle depuis 2013, cette station a été gérée par EAST durant un an et demi et est maintenant sous la gestion de la SAMVA, après un transfert de compétences (technique et administratif). Les installations sont composées d'un réservoir principal hors-sol de 30 m³ (maçonné à dôme flottant) et de bassins de sables qui filtrent la phase liquide (récupérée par un système de trop plein) et la phase solide (récupérée lors des vidanges). Le site traite près de 400 m³ de boues de latrines chaque année. L'eau une fois filtrée est rejetée tandis que la partie solide est compostée puis commercialisée.

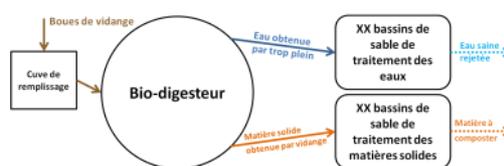


Figure 24 - Schéma de principe du site de traitement des eaux usées EAST (2013)

Projet 2016

Cette seconde station située dans le Fokontany d'Ambatomaro est phase de test depuis Janvier 2017. Elle est constituée de 4 réservoirs biogaz installés en parallèle et d'un réservoir bio-filtre en sortie. Ces biodigesteurs sont maçonnés enterrés à cloche flottante de 10 m³ chacun. La phase liquide sera déversée par un système de trop plein dans le bio-filtre puis acheminée vers un circuit d'eau de 50 m³ planté de Vetiver pour l'absorption des nutriments restants. L'eau saine récupérée sera alors valorisée sur le site (nettoyage) ou rejetée. La phase solide sera compostée sur le site et commercialisée. Le biogaz obtenu sera valorisé pour la station afin de chauffer les cuves (accélération de la réaction) et pour l'éclairage.

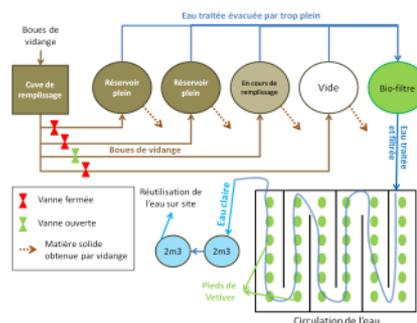


Figure 25 - Schéma de principe du site de traitement des eaux usées EAST (2016)

Ce projet, mené en partenariat avec l'IMV et Practica. Une entreprise formée par Bio-éco et le GRET lors de leur projet de mise en place de stations d'épuration à Antananarivo (description du projet dans la partie précédente) a été mandatée pour la construction de la station.

WSUP/CARE

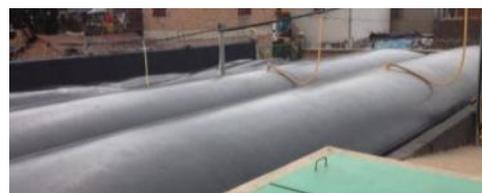
Présentation générale et historique du projet

WSUP (Water and Sanitation for the Urban Poor) œuvre à l'accès à des services d'eau et d'assainissement essentiellement en milieu urbain (Antananarivo, Mahajanga et Tuléar) et a pour objectif d'ici 2020 d'impacter 1 million de personnes.

Parmi les projets déployés par l'organisme, un projet de traitement des déchets de la Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA) est mené en partenariat avec l'ONG CARE¹⁸ depuis 2013 grâce à un financement AFD-FISONG. Il s'agissait de mettre en place des solutions pour la gestion intégrée des déchets solides (réseau de pré-collecteurs pour acheminer les déchets dans les bacs de la SAMVA) et des déchets liquides (construction de latrines, professionnalisation de vidangeurs et construction d'un site de traitement par digestion anaérobie). Suite à l'obtention des permis environnementaux pour le site sélectionné (étape très difficile), le projet a formé et professionnalisé des associations de vidangeurs pour la collecte des boues de vidange de latrines et fait construire un site de traitement de 160 m³ par les entreprises Artelia, Rindra et Sistema.bio (décrite en Partie 3.2.2). La station, opérationnelle depuis Janvier 2017 est maintenant gérée par la SAMVA.

Quelques aspects techniques des installations réalisées

Le site de traitement est composé de quatre réservoirs flexibles de 40 m³ assurant ainsi une capacité de 160 m³. Les réservoirs se remplissent les uns après les autres par un système de trop plein. Un tuyau flexible connecté au sommet de chaque flexible permet la récupération du biogaz qui est filtré avant d'être utilisé sur le site.



¹⁸<http://www.carefrance.org/care-actions/programmes-monde/pays-intervention/madagascar.htm>

Une cuve de remplissage permet de déverser les boues de vidange amenées par les vidangeurs dans les cuves. Des bassins de décantation, remplis par système de trop plein en sortie du dernier réservoir accueillent la partie liquide du digestat. Un local permet de stocker les bidons livrés par les vidangeurs et de suivre les activités.



Pour le moment, le biogaz produit par le traitement des boues de latrines est valorisé sur le site (cuisson via l'utilisation d'un réchaud à biogaz à large diamètre et éclairage via 3 lampes à biogaz).

Concernant le digestat, la phase liquide décantée dans les bassins prévus à cet effet, n'est pas encore valorisée. En revanche, des analyses de la qualité de l'eau rejetée ont été réalisées auprès de l'Institut Pasteur de Madagascar et montrent une réduction de pathogène de 98 % à la sortie du 3ème bassin. Le

site dispose d'une parcelle cultivable qui pourrait être aménagée pour valoriser le digestat liquide et les boues issues des digesteurs lors de la vidange (tous les 2 ans).

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

L'entreprise Sistema.bio, a assuré une formation théorique d'une journée et une formation pratique de 5 jours de l'équipe de projet et de la SAMVA, gestionnaire du site afin d'assurer la bonne utilisation des installations. Le projet a également appuyé la SAMVA à la gestion financière du site.

Le projet travaille encore à l'organisation des vidangeurs ainsi qu'à la sensibilisation des ménages alentours afin de faire connaître l'offre et augmenter la demande, encore insuffisante pour assurer l'équilibre financier de la station. D'autres activités, comme la valorisation du digestat, doivent être mises en place afin d'augmenter les revenus de la station et atteindre un équilibre financier, voire une rentabilité financière.

CICR

Les activités principales de la délégation régionale du CICR à Madagascar sont les visites aux personnes privées de liberté, la coopération avec les Sociétés nationales de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge et la promotion du droit international humanitaire. Dans ce contexte, le CICR propose par exemple un support nutritionnel pour les prisonniers en situation de malnutrition et a réalisé des projets liés aux infrastructures pénitentiaires.

Dans ce contexte, l'organisation a accompagné deux prisons de la région d'Antananarivo à mettre en place un système de traitement par digestion anaérobie des boues de latrines des prisons pour substituer aux fosses septiques et (i) améliorer le traitement des boues de latrines et autres eaux usées et (ii) réduire la pollution de l'air intérieur par l'utilisation du biogaz à la place du bois-énergie. Grâce à l'expérience du CICR au Rwanda (3 biodigesteurs déjà installés dans des prisons), l'appui d'un consultant expert pour le dimensionnement des installations ainsi que de prestataires locaux de construction sélectionnés sur appel d'offre, le CICR a mis en place deux installations. Un premier biodigesteur de 50 m³a été réalisé et inauguré en juin 2016 et un second de 30 m³ a été finalisé fin 2016. Le modèle choisi est un biodigesteur enterré maçonné à dôme fixe en béton armé. Les biodigesteurs sont autonomes et se remplissent sans manutention via la connexion directe aux latrines de la prison. La seule maintenance nécessaire est un nettoyage hebdomadaire et un curage régulier des canalisations. Le projet, entièrement financé par le CICR, a permis aux prisons bénéficiaires d'avoir un système d'assainissement plus approprié et plus simple d'utilisation (moins de maintenance et vidange) ainsi qu'un système de cuisson plus propre et moins coûteux que le bois-énergie utilisé jusqu'alors. Le digestat (ou eaux usées traitées) est rejeté sans valorisation. Le CICR effectue des visites régulières des prisons pour contrôler l'utilisation et l'état du biodigesteur déjà fonctionnel. L'organisation envisage l'installation d'un troisième biodigesteur au sein d'une prison. L'étude de faisabilité est en cours.

Autres projets

D'autres projets d'installation de biodigesteurs pour des cantines scolaires ou des orphelinats ont été réalisés par divers organismes. Ils ne sont pas détaillés ici

Les projets de traitement de déchets ménagers

Welt Hunger Hilfe (WHH) – Projet d'Appui à l'Assainissement Solide et Sécurité Alimentaire

Le projet PASSAT, réalisé entre Aout 2014 et Décembre 2017, entièrement financé par la BMZ (Ministère fédéral de la Coopération économique Allemand chargé de l'aide au développement économique) avait comme objectif de « renforcer la résilience de la population [de Tuléar] face aux catastrophes naturelles en améliorant les conditions de vie de la population et augmenter leur capacité de production ». Le premier volet de ce projet consistait en l'assainissement solide. Ainsi, le PASSAT a choisi de mettre en place, en étroite collaboration avec la municipalité de Tuléar, un plan durable de gestion des déchets sur toute la chaîne de valeur pré-collecte, collecte, transport, tri, valorisation et enfouissement des déchets ultimes.



Plusieurs formes de valorisation de déchets ont été développées et la mise en place d'un site de biométhanisation au niveau du marché central de SCAMA en fait partie. Cette infrastructure permet de valoriser et de traiter les déchets organiques du marché, réduisant ainsi les frais de collecte et de transport.

Ce site est le premier biodigester, à Madagascar, qui traite les déchets urbains et valorise entièrement le biogaz généré. Il sert actuellement de lieu de recherche, d'expérimentation, d'échange et de sensibilisation et grâce aux revenus générés par la valorisation du biogaz,

il est autonome et rentable.

Suite à des discussions avec la CU et l'obtention du permis de construire de la Direction Régionale de l'Energie et des Hydrocarbures, WHH a pu lancer la construction du biodigester avec le soutien du Professeur Ramampihirika sur le marché centrale SCAMA de Tuléar. Le biodigester de type Sino-Indien maçonné à cloche flottante de 15 m³ fonctionnel depuis Février 2016 assure le traitement de 150 kg de déchets organiques méthanisables du marché et produit environ 4 m³ de biogaz par jour.

Un gestionnaire formé par le projet assure la maintenance du site et valorise le biogaz produit par l'intermédiaire d'un « Bio-Resto » et le digestat sur des cultures locales, pour l'alimentation de poissons ou revendu à des ONGs locales.

Les marchands, pré-collecteurs du marché employés par la CU et le comité de gestion du marché ont été formés pour optimiser la collecte et l'acheminement des déchets méthanisables jusqu'au site sur le long terme.

PATMAD

Dans une moindre mesure, l'association PATMAD (Programme d'Agro-Transformation à MADagascar) a souhaité mettre en place une unité de production de biogaz au sein de son atelier de transformation de fruits. L'activité principale de l'atelier étant le séchage de fruits, l'objectif était d'utiliser les épiluchures et restes de fruits non séchés pour le remplissage des réservoirs. Le biogaz produit serait alors utilisé pour le séchage des fruits et le digestat commercialisé ou donné aux agriculteurs fournisseurs de l'atelier.

Malheureusement, l'atelier étant arrêté depuis plusieurs mois, les réservoirs ne sont plus fonctionnels.

3.2.4 Les utilisateurs biogaz

Les utilisateurs des installations biogaz réalisées à Madagascar sont de deux natures :

- Les ménages bénéficiaires de biodigesteurs domestiques ;
- Les organismes responsables de la gestion d'un site de traitement des boues de vidange ou de déchets organiques.

Les ménages bénéficiaires d'une installation domestique

Les ménages bénéficiaires de biodigesteurs domestiques à Madagascar sont essentiellement des ménages ruraux agro-pasteurs. Ces derniers ont obtenu leurs installations grâce à des subventions des projets mais ont participé à la collecte des matériaux de construction (sable, gravier, briques) ainsi qu'aux travaux de construction par la mise à disposition de main d'œuvre.

Ils utilisent en très grande majorité des bouses de zébus ou lisier de porc comme intrant pour obtenir du biogaz et du digestat. Le biogaz est valorisé pour la cuisson (brûleur et cuiseur de riz) et pour l'éclairage via les lampes à biogaz. Le digestat semble majoritairement épandu directement mais peut être parfois composté pour une meilleure conservation et facilité de transport.

Le taux de 83 % à 93 % de fonctionnalité des biodigesteurs installés à Madagascar est basé sur les informations fournies par les acteurs interrogés. Le suivi des bénéficiaires n'étant pas toujours réalisé par les opérateurs par manque de budget, ce chiffre est une estimation. Il est donc difficile de bien estimer l'appropriation de la technologie biogaz par les ménages à Madagascar.

Les organismes gestionnaires de site traitement

Les organismes responsables de la gestion des sites de traitement sont principalement des organisations publiques comme la SAMVA pour la région d'Antananarivo (sauf pour l'entreprise sociale Loowatt qui gère ses propres installations). Des transferts de compétence ont été réalisés par les organisations qui ont menés les projets afin d'assurer une bonne gestion des stations et d'optimiser leur viabilité.

L'équilibre économique de ces stations est l'enjeu majeur. La plupart des sites de traitement ne sont pas encore viables et tous les projets en cours recherchent des solutions alternatives pour la valorisation du digestat et du biogaz afin de pérenniser les activités de collecte des boues de vidange ou de déchets organiques méthanisables.

3.3 Gouvernance, réglementation

La Nouvelle Politique Energétique (NPE) souhaite renforcer l'utilisation des énergies renouvelables à Madagascar et notamment pour réduire l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson. Pour cela, le gouvernement a par exemple mis en place un système d'exonération de taxes pour l'importation de matériel d'énergie renouvelable (comme le solaire ou l'éolien) ou développe des réglementations et normes pour assurer la qualité des technologies diffusées. Cependant, cette NPE ne fait pas explicitement référence à la technologie *biogaz*. Depuis début 2018, la Direction des Energies Alternatives du MEEH travaille sur l'élaboration d'une loi sur les bioénergies parmi lesquelles se trouve le biogaz. Ce texte n'étant pas un décret d'application, il n'intègre toujours pas de mesures concrètes (exonération de taxes, facilité d'importation, etc.) qui favoriseraient le développement de la filière biogaz à Madagascar mais prévoit principalement les dispositions générales, la création éventuelle d'un organe de régulation, les besoins en autorisation, etc. Des ateliers de consultation ont été organisés avec les acteurs des filières bioénergies pour prendre en considération leurs spécificités et leurs demandes. La loi devrait être finalisée et votée avant la fin du premier semestre 2018.

3.4 Les impacts de la technologie *biogaz* à Madagascar

3.4.1 Introduction et contexte

La filière biogaz n'est pas encore très développée à Madagascar. Les opérateurs et projets réalisés sont à petites échelles en phase pilote et n'ont pas encore réalisé d'évaluation des impacts et de capitalisation de leurs installations. De plus, bien que la technologie biogaz fasse partie des alternatives au bois-énergie les plus intéressantes pour le pays, le gouvernement n'a pas encore mis en place de réelles gouvernance et réglementation pour appuyer la filière. En conséquence, il n'existe que très peu d'informations documentées concernant cette technologie à Madagascar. Cette partie propose de réaliser une estimation des impacts environnementaux, sociaux et économiques à l'échelle d'un ménage rural moyen en se basant sur des hypothèses présentées en Annexe 8.7.1 de ce rapport obtenues grâce aux statistiques disponibles, aux informations recueillies auprès des opérateurs, projets et utilisateurs d'installations domestiques ainsi qu'à la connaissance terrain de l'association et de ces partenaires.

3.4.2 Impacts économiques (39)

Introduction

Les impacts économiques dus au développement d'une filière biogaz domestique peuvent être analysés aux niveaux macro-économique (développement d'une dynamique économique autour de la filière au niveau local, régional ou national) et micro-économique (niveau du ménage bénéficiaire d'une installation).

Au **niveau macro-économique**, le développement d'une filière biogaz permettrait la réduction (i) d'importation des énergies fossiles et de dépenses en infrastructure (exode rural, électrification des zones enclavées, etc.), (ii) de dépenses réalisées pour la conservation et réhabilitation de l'environnement et (iii) de dépenses sanitaires. Par ailleurs, elle créerait une dynamique économique par la création d'emplois directs et indirects, le renforcement des compétences et l'augmentation des rendements agricoles des bénéficiaires. Il faut cependant faire attention aux impacts néfastes du déploiement à grande échelle de cette technologie puisqu'elle peut également impacter négativement (exemple : réduction des revenus de la filière charbon - producteurs, transporteurs, revendeurs et gouvernement via les taxes). Des études, comme celle menée en 2007 par Winrock International(40) permettent de comprendre et d'évaluer les impacts économiques du développement de cette filière dans les pays en développement.

Les bénéfices économiques **au niveau micro-économique** (d'un ménage) sont essentiellement générés via (i) le temps libéré (collecte du bois, arrêt maladie) valorisable en Activités Génératrices de Revenus (AGR), (ii) la réduction des dépenses liées à l'achat de combustible, de médicaments ou d'engrais et (iii) l'augmentation des revenus des ménages par la valorisation du digestat et l'augmentation des rendements agricoles induits. Cependant, le coût d'investissement pour l'installation d'un biodigester étant relativement élevé, il est important de faire une analyse coûts-bénéfices afin d'évaluer les délais de récupération des investissements.

Méthode et hypothèses de l'analyse coûts-bénéfices au niveau d'un ménage

Dans cette partie, l'objectif est de démontrer les bénéfices économiques retirés par un ménage rural moyen qui choisirait d'investir dans une solution biogaz à Madagascar. Les bénéfices liés à l'installation d'un biodigester sont à ré-estimer au cas par cas pour chaque potentiel bénéficiaire. Cette analyse permet de présenter la méthodologie de calcul mais ne prétend pas présenter des résultats généralisables à toutes les situations. Les hypothèses et la méthode utilisée sont détaillées à l'Annexe 8.7.

Les dépenses liées à l'installation et l'utilisation d'un biodigester

Les dépenses d'un ménage concernant l'installation d'un biodigester de 8 m³ sont :

- **Coût du biodigester** – Pour obtenir un biodigester, le ménage devra rassembler des apports en nature (sable, gravier, briques, main d'œuvre, etc.) estimés à 600 000 Ar (20 % du coût global) et un apport financier (autres matériels, frais des maçons, etc.) estimé à 2 400 000 Ar. Le montant global est donc estimé à 3 000 000 Ar pour un réservoir de 8 m³.
- Il est estimé ici qu'un ménage moyen n'a pas la capacité financière permettant d'assumer l'apport financier sans emprunt. On suppose donc que le ménage emprunte la totalité de l'apport financier (soit 80 % du montant du biodigester, 2 400 000 Ar) à un taux d'intérêt

annuel dégressif de 10 % sur 5 ans (soit 720 000 Ar). Le ménage n'effectuera pas d'investissement initial mais devra alors rembourser chaque année pendant 5 ans :

- **480 000 Ar d'annualités ;**
- **Les intérêts.**
- **Les frais de maintenance et entretien du biodigester** - les frais annuels de maintenance sont estimés à 20 000 Ar. Les réchauds à gaz et tuyauterie sont changés tous les 8 ans pour 130 000 Ar et les lampes à biogaz tous les 4 ans pour 50 000 Ar.

Le détail de ces dépenses est présenté en Annexe 8.7.2.

Les gains liés à l'utilisation d'un biodigester

Les gains économiques des ménages bénéficiaires d'un biodigester domestique peuvent être catégorisés en trois niveaux : le gain de temps valorisable en Activités Génératrices de Revenus (AGR), la réduction de dépenses (achat de combustible) et l'augmentation des revenus.

Le **gain de temps** s'effectue essentiellement en réduisant le temps de collecte du bois utilisé pour la cuisson, le temps passé par les femmes pour la cuisine (cuisson et nettoyage des ustensiles) ainsi que le temps en arrêt maladie (infections respiratoires, oculaires, etc.) à cause des émissions de fumées toxiques. Ce temps peut être valorisé en AGR par les membres du ménage qui l'économise. Le gain économique est alors calculé à partir du revenu moyen d'un travailleur journalier en milieu rural (3 000 Ar par jour). On estime que ce temps gagné permet à un ménage rural moyen de gagner **246 000 Ar** par an.

La **réduction des dépenses** du ménage sera réalisée au niveau de l'achat de bois-énergie (bois mais surtout charbon), de bougies, pétrole lampant ou piles pour l'éclairage ainsi que d'engrais chimique de type NPK. Cet argent non dépensé est alors un gain économique pour les ménages. On estime que cette réduction des dépenses permet au ménage rural moyen d'économiser **105 805 Ar** par an.

L'**augmentation des revenus** des ménages s'effectue essentiellement par l'augmentation des rendements des cultures grâce à la valorisation du digestat. En cas de surproduction du digestat, il peut également être commercialisé. On estime alors que la valorisation et commercialisation du digestat permet d'augmenter les revenus du ménage rural à moyen de **525 000 Ar** par an.

Ainsi, l'utilisation d'un biodigester au lieu du bois-énergie permettrait à un ménage rural moyen de gagner près de **877 000 Ar** par an.

Le détail de ces gains économiques est présenté en Annexe 8.7.2 de ce rapport.

Gain de temps	Ar
Collecte du bois	52 469
Cuisson	164 250
Arrêt maladie	30 000
Réduction des dépenses	
Combustible cuisson	48 205
Combustible éclairage	57 600
Engrais chimiques	0
Augmentation des revenus	
Augmentation des rendements	422 760
Augmentation via AGR	102 250
Gain total annuel (Ar)	877 533

Tableau 11 - Bénéfices économiques liés à l'utilisation d'un biodigester

L'analyse coûts-bénéfices d'une installation biogaz domestique

Selon les hypothèses précitées, un ménage rural moyen qui choisirait d'investir dans un biodigester domestique de 8 m³ à Madagascar dans les conditions susmentionnées aurait un retour sur investissement au bout de 5 années. Au bout de 15 ans, le ménage pourrait accumuler jusqu'à 7 300 000 Ar grâce à cet investissement.

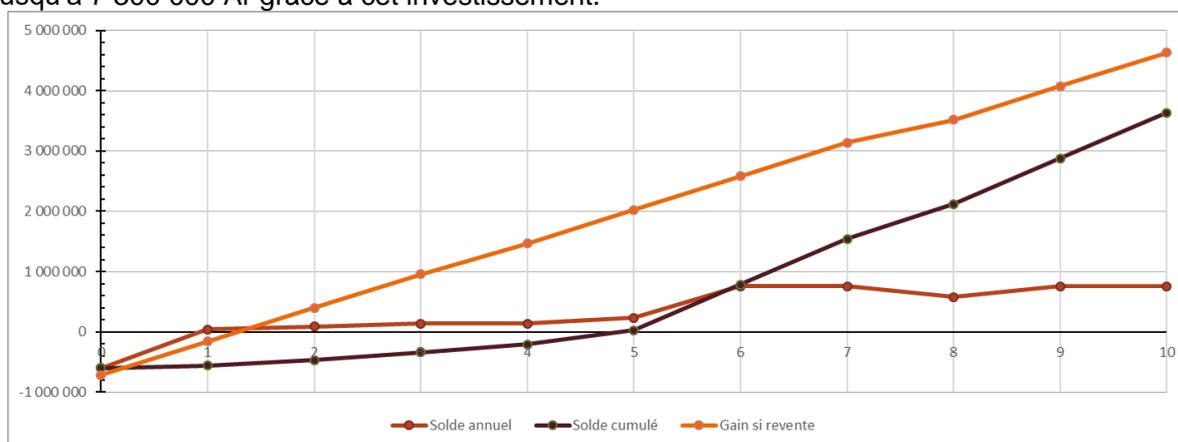


Figure 26 – Bilan financier d'un ménage qui investit dans un biodigester

3.4.3 Impacts environnementaux d'un biodigesteur domestique

Introduction

L'utilisation d'un biodigesteur permet la préservation de l'environnement essentiellement par la réduction des émissions de GES (substitution du bois-énergie par le biogaz) et de la déforestation.

Remarques et effets néfastes à contrôler (41)(42)(43)

Pour que ces impacts restent positifs, il faut s'assurer que les bénéficiaires d'un biodigesteur utilisent et maintiennent correctement le dispositif. En effet, un échappement du biogaz (principalement composé de méthane, 20 à 25 fois plus impactant pour l'effet de serre que le dioxyde de carbone) sans le brûler aurait alors un impact négatif sur l'environnement. Ainsi, les ménages bénéficiaires doivent être très vigilants sur les fuites et assurer une maintenance régulière des installations. Par ailleurs, ils devront stocker dans un ballon externe ou brûler (combustion du méthane avec l'air pour le transformer en dioxyde de carbone) une éventuelle surproduction de biogaz qui pourrait s'échapper du biodigesteur.

Une mauvaise utilisation du digestat peut également entraîner des pollutions des eaux, des émissions de GES ou l'acidification des sols et l'eutrophisation des cours d'eau. Il faut donc également prendre des précautions particulières lors de son utilisation.

Méthode et hypothèses

Les hypothèses utilisées dans l'analyse des impacts économiques sont maintenues pour cette partie. Les détails des calculs réalisés pour l'évaluation de ces impacts environnementaux sont présentés en Annexe 8.7.3.

La réduction des émissions de GES

La réduction des émissions de GES par un ménage bénéficiaire d'un biodigesteur est évaluée à **3,642 tonnes de CO₂e** chaque année grâce à la substitution de l'ensemble du bois-énergie utilisé par le biogaz.

La réduction de la déforestation

L'utilisation d'un biodigesteur permettrait à un ménage rural moyen de réduire sa consommation de bois sec non renouvelable de 2,084 t par an soit 4,168 t de bois vert chaque année. En considérant les densités forestières de 5 kg de bois vert dans une forêt épineuse et 20 kg de bois vert par m² dans une forêt humide, on peut en déduire des estimations de réduction de la déforestation par type de forêt.

Ainsi, un ménage permettrait de préserver **208 m²** de forêt humide ou **830 m²** de forêt épineuse par an en utilisant un biodigesteur au lieu de bois-énergie en foyer traditionnel.

En prenant l'hypothèse que 2 % de la population rurale (soit environ 80 000 ménages) utilise la technologie biogaz au lieu du bois-énergie, la coupe de **1 736 ha de forêt humide** ou de 7 000 ha de forêt épineuse pourrait être évitée chaque année.

Inversement, pour préserver un hectare de forêt humide ou un hectare de forêt épineuse par an, il faudrait installer respectivement **30 à 120 biodigesteurs**.

3.4.4 Impacts sociaux

Introduction

Il est difficile d'apporter une mesure quantitative des impacts sociaux liés à l'utilisation d'un biodigesteur. A Madagascar, aucune étude précise n'a été menée sur ce sujet en termes d'amélioration de conditions de vie, des satisfactions principales des ménages, des problèmes rencontrés ou freins au développement.

En revanche, il est important de souligner que le taux d'appropriation des biodigesteurs domestiques construits (basé sur les statistiques fournies par les opérateurs) est élevé. Par ailleurs, la plupart des biodigesteurs qui ne sont plus fonctionnels le sont principalement à cause d'un manque d'intrant (bouses de zébus) en raison de la diminution des cheptels des ménages bénéficiaires (vol de zébus ou vente pour cause de problèmes financiers).

Réduction des problèmes de santé

La réduction des fumées émises lors de la combustion du bois-énergie en intérieur diminuent les risques de maladies respiratoires et oculaires. La méthanisation des déchets organiques (décharges à ciel ouvert, défécation en plein air) réduit les pollutions des eaux et donc les maladies

gastriques (diarrhées, etc.). La réduction de l'utilisation d'engrais chimiques toxiques pour l'homme réduit les risques de maladies liées à leur manutention ou absorption.

Amélioration des conditions de vie des ménages et surtout des femmes

L'utilisation de déchets organiques en intrant permet de réduire les gênes (odeurs, insectes, etc.) dus à leur épandage à proximité des ménages car la méthanisation permet de réduire fortement ces effets.

La valorisation du biogaz permet l'accès à une énergie moderne, disponible (autonomie locale) et décentralisée (pas de dépendance en des énergies fossiles chères). Concernant la valorisation pour la cuisine, il permet d'améliorer les conditions de vie des femmes par la réduction de la pénibilité de la cuisson (réduction du temps de collecte du bois, de cuisson et de nettoyage des ustensiles, l'absence de fumées toxiques, réduction des risques de brûlure, etc.). Concernant sa valorisation en lumière, il permet aux enfants de faire leur devoir le soir.

La valorisation du digestat permet d'augmenter les rendements des cultures et offre l'opportunité aux ménages de diversifier leur culture et donc d'améliorer la qualité nutritive des aliments consommés.

Remarques

Dans les pays en développement, ces déchets organiques (hormis les excréments humains) peuvent être valorisés par les ménages pour l'agriculture. Il faut donc bien étudier l'utilisation de ces derniers (compostage, nourriture de bétail, etc.) avant de proposer des installations biogaz afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de conflit d'usage et de manque à gagner pour les bénéficiaires.

Enfin, l'installation d'un système biogaz implique des modifications des habitudes et notamment une réorganisation de l'espace de cuisson. Les femmes doivent donc bien s'approprier la technologie et accepter ces changements.

3.5 Facteurs clés de succès du développement de la technologie biogaz à Madagascar (39)(24)(38)

Pour développer un projet d'installation de biodigesteurs dans un pays, des facteurs clés de succès doivent être vérifiés afin d'assurer le potentiel technique du biogaz, la possibilité d'appropriation de la technologie et les opportunités de développement de la filière. Ainsi, tout projet doit vérifier la comptabilité du déploiement de solutions biogaz avec les facteurs techniques, économiques, sociaux, environnementaux et institutionnels décrits ici. Cette partie présente les facteurs clés à évaluer et résume la situation de Madagascar pour chacun d'entre eux.

L'Annexe 8.8 détaille certains aspects de l'évaluation de ces facteurs dans le cas de Madagascar.

3.5.1 Facteurs techniques

Les facteurs techniques correspondent aux critères techniques objectifs. Ils peuvent être considérés au niveau de la zone ciblée par le projet ou du pays (conditions climatiques, disponibilité des matériaux de construction, présence d'opérateurs biogaz, etc.) ou au niveau des ménages bénéficiaires (disponibilité des intrants, capacité technique d'installation, etc.). L'Annexe 8.8.1 présente quelques détails additionnels dans le cas de Madagascar.

Potentiel technique au niveau macro

Lors du choix de déploiement d'un projet d'installation de biodigesteurs domestiques en milieu rural dans un pays en développement les critères techniques macro ci-dessous doivent être évalués lors d'une étude de pré-faisabilité.

Situation climatique - Le climat du pays ou au moins de la zone d'implantation du projet doit être adapté. Il doit être suffisamment sec (sans pluie sur la période des constructions), pour permettre la construction des biodigesteurs. En revanche, une source d'eau (non traitée) doit être disponible toute l'année. La température moyenne doit être relativement élevée (idéalement > 20°C) et ne jamais descendre en dessous de 5°C (température en dessous de laquelle les microorganismes ne peuvent plus digérer les matières organiques).

A Madagascar, bien que le climat varie fortement d'une région à une autre, toute l'île répond aux critères climatiques exigés pour l'installation de biodigesteurs. La contrainte majeure réside dans l'existence d'une saison des pluies de Novembre à Avril qui réduit la possibilité de construction durant cette période dans certaines régions. Situation particulière, les Hauts-Plateaux (centre de l'île) étant en altitude, les températures peuvent descendre jusqu'à 8°C, ce qui peut inhiber la réaction anaérobie.

Disponibilité des matériaux - les matériaux nécessaires à la construction des biodigesteurs doivent être présents sur le territoire afin de (i) limiter les risques liés à l'importation de matériel (délais, qualité du matériel, etc.) et (ii) réduire les coûts des matériaux. Les besoins en matériel pour la construction d'un réservoir maçonné à dôme fixe sont essentiellement le sable, gravier et ciment pour la maçonnerie, l'argile pour les briques, les barres de fer pour la structure, éventuellement des tôles métalliques. Pour les autres modèles, la bâche est régulièrement importée.

Ces matières premières sont effectivement présentes à Madagascar et peuvent être parfois collectées gratuitement par les ménages (sable, gravier, argile) ou achetées, principalement en milieu urbain (Antananarivo ou principales villes de la province de déploiement). En revanche, les terminaux à biogaz ne sont pas encore disponibles sur le marché. Les opérateurs existants les importent majoritairement de Chine ou modifient des brûleurs à gaz pour les adapter à la combustion du biogaz (un brûleur à butane n'étant pas adapté au biogaz). Concernant les dômes flottants, les bâches peuvent être de récupération (bâches de camion par exemple) ou importées de Chine. Les cloches flottantes peuvent être fabriquées localement en adaptant des cuves plastiques par exemple ou importées.

Présence d'opérateurs expérimentés avec une technologie robuste et expérimentée afin de (i) limiter les risques de non appropriation des installations et de non adaptation du modèle technologique aux contextes climatique, social, économique et culturel et (ii) favoriser un suivi sur le long terme des bénéficiaires à la suite du projet.

Bien que le nombre d'opérateurs biogaz et d'installations réalisées soit encore restreint à Madagascar, les expériences réalisées sont encourageantes. Les technologies développées semblent adaptées au contexte du pays et le taux d'appropriation relativement haut. Les opérateurs ont, pour l'ensemble, développé un réel savoir-faire technique et disposent de

techniciens formés. Pour plus d'information sur les opérateurs et leurs expériences, se référer aux Partie 3.2 et 3.6.2.

Robustesse des infrastructures et facilités de maintenance -Le déploiement d'une filière d'énergie alternative en milieu rural nécessite d'avoir un accès facile à la population ciblée. Ainsi, les infrastructures et particulièrement les routes doivent être praticables toute l'année (ou au moins pendant la saison sèche) pour assurer l'approvisionnement des ménages. Dans le cas de la technologie biogaz, l'accès en saison sèche pour la construction des réservoirs est essentiel. Par ailleurs, il est important que les techniciens puissent rendre visite régulièrement aux ménages bénéficiaires au moins la première année afin de réaliser les opérations de maintenance et la formation continue de ces derniers. Sans cela, les risques de non appropriation et donc d'abandon sont élevés.

A Madagascar, les infrastructures des milieux ruraux sont désastreuses. Les villages ruraux sont très régulièrement enclavés et inaccessibles, notamment en saison des pluies. Il faudra donc veiller à sélectionner des villages accessibles toute l'année (ou au moins en saison sèche et la plupart du temps en saison humide pour suivre régulièrement les installations) et à travailler en collaboration avec les départements locaux ou régionaux concernés afin d'améliorer les routes et permettre un accès à de nouveaux villages enclavés et faciliter un déploiement à plus large échelle.

Critères techniques au niveau des bénéficiaires

Les critères techniques de sélection des bénéficiaires ont une grande influence sur l'appropriation des installations et donc sur leur potentiel abandon.

Être agro-pasteur - Les ménages bénéficiaires doivent être à la fois (i) éleveurs pour avoir les matières premières (intrants) disponibles et gratuites toute l'année ET (ii) agriculteurs pour valoriser le digestat produit par le biodigesteur. Il est préférable que l'élevage soit la principale source de revenu du ménage car cela assure l'approvisionnement en intrant suffisant sur toute la durée de vie du biodigesteur et réduit le risque de vente du bétail (et donc l'insuffisance des intrants). En revanche, le ménage doit également pratiquer l'agriculture car l'utilisation du digestat et donc l'augmentation des rendements est un critère d'appropriation majeur.

A Madagascar(1), plus de 72 % des ménages pratiquent l'agriculture (et cultivent au moins une culture) dont 85,2 % en milieu rural et près de 60 % pratiquent l'élevage dont 66,9 % en milieu rural. En milieu rural, l'animal le plus élevé par les ménages malgaches est le poulet (50,6 % des ménages) suivi par le zébu (22,9 %), les porcins (18,8 %), les zébus de traits (14,9 %).

Posséder un nombre de bétails suffisant et en stabulation à proximité du ménage toute

l'année pour assurer l'approvisionnement continu en intrants du biodigesteur. Le nombre de têtes (bovines, porcines ou volailles) est à déterminer avec l'opérateur en fonction de la technologie installée et du besoin énergétique du ménage. La quantité d'intrants disponible doit être plus importante que la quantité nécessaire au chargement quotidien du biodigesteur. Le bétail doit être présent sur le site en permanence et ne doit donc pas partir en transhumance sur une période de plus d'une semaine. Il doit être parqué un temps suffisant par jour (facilité de collecte). Le ménage doit être en



mesure de nourrir correctement son bétail (fourrage disponible) toute l'année. La stabulation doit être à proximité du réservoir pour faciliter la collecte des intrants (temps et distance de transport).

A Madagascar, l'élevage est la deuxième activité rurale après l'agriculture. Le cheptel bovin est estimé à 9,5 millions de tête en 2005 et se concentre principalement dans la partie Nord-Ouest, la côte Ouest et l'extrême Sud de l'île. 67 % des 1,2 millions de têtes porcines recensées est à Antananarivo et Fianarantsoa(8).

L'élevage bovin est majoritairement extensif. Les ménages n'ont pas souvent recours à du fourrage et les zébus sont principalement uniquement parqués la nuit à proximité des foyers (bien qu'ils ne soient pas en stabulation à proprement parler) et en pâturage la journée. La transhumance n'est que très rarement pratiquée.

Disposer d'une surface agricole suffisante à proximité du biodigesteur pour assurer la valorisation du digestat produit en continu sur le long terme et l'appropriation de la technologie grâce à l'augmentation des rendements agricoles et donc des revenus. Les espèces cultivées par

le ménage doivent être adaptées à l'utilisation du digestat (besoin régulier en engrais, augmentation des rendements démontrées). Dans le cas contraire, le ménage doit être en mesure de diversifier ses cultures pour répondre à ce critère. Les cultures ne doivent pas être trop éloignées du biodigesteur afin de réduire les distances à parcourir pour l'utilisation du digestat et réduire les risques d'abandon ou de rejet de digestat dans de mauvaises conditions qui pourrait impliquer des pollutions éventuelles.

A Madagascar(44), l'agriculture est l'activité prédominante des ménages ruraux. Cependant, l'exploitation y est très majoritairement de petite taille. En effet, la superficie économique (surface physique cultivée comptée autant de fois qu'il y a d'association de cultures ou de succession de cultures) moyenne est de 1,7 ha et médiane de 1 ha par ménage agricole. 64 % des agriculteurs sont des petits exploitants (superficie économique inférieure à 1,5 ha), 28 % sont des exploitants moyens (entre 1,5 et 4 ha) et 8 % des grands exploitants. Mais il existe de grande disparité selon les régions de l'île et les pratiques agricoles.

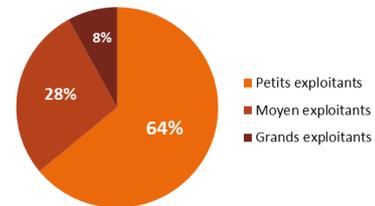


Figure 27 - Répartition du type d'exploitants à Madagascar

En milieu rural, les ménages agricoles cultivent en général moins de 5 cultures différentes au cours d'une campagne et la moyenne tourne autour de 3. Les cultures les plus pratiquées dans l'ordre d'importance sont le riz, le manioc, la patate, le maïs, les légumes feuilles et les haricots. La culture du riz, culture majoritaire à Madagascar, nécessite des surfaces inondées en plaine. Ainsi, ces dernières ne sont que très rarement à proximité des ménages.

Avoir un accès à de l'eau naturelle à proximité toute l'année pour assurer l'approvisionnement quotidien en eau du réservoir. Le ménage doit avoir accès à une source d'eau qui ne connaisse pas de pénurie, même en saison sèche. L'eau de cette source doit être en quantité suffisante et son utilisation ne doit pas entrer en conflit avec d'autres usages locaux et risquer une pénurie. L'eau ne doit pas être polluée (risques de contamination des cultures par des métaux lourds, etc.) ni chlorée (ce qui inhibe la réaction de méthanisation). Il faut donc faire attention à l'utilisation de l'eau de ville qui peut en contenir. La source d'eau doit être à proximité du biodigesteur et facile à collecter pour réduire les risques d'abandon dus à la pénibilité de la collecte de l'eau.

A Madagascar, les impacts du changement climatique impliquent des dérèglements du cycle de l'eau. Dans les régions du Sud (régions les plus sèches), qui connaissent des périodes de grande sécheresse, la zone d'implantation d'un biodigesteur doit donc être choisie à proximité d'une source d'eau pérenne sans conflit d'usage. D'autres régions sont très humides et connaissent même des périodes cycloniques qui provoquent de graves inondations. La très grande majorité des ménages malgaches ne sont pas connectés au réseau d'eau de la JIRAMA et collecte l'eau potable dans des puits à proximité de leur habitation (rarement traitée chimiquement) et l'eau pour le bétail et l'agriculture dans des sources d'eau permanente (lac ou rivière).

Être propriétaire d'un terrain constructible à proximité de la maison avec une surface suffisante pour permettre l'installation du biodigesteur. Le ménage doit être propriétaire du terrain où le digesteur est installé pour limiter les risques de problème foncier et de conflit d'usage. Le terrain doit être d'une surface suffisante (selon le modèle installé) et répondre à des critères géologiques qui permettent la construction du réservoir. Il doit être à proximité du ménage et en particulier de la cuisine pour permettre la connexion du biodigesteur aux terminaux de cuisson et d'éclairage (la distance maximum sera à déterminer avec l'opérateur) et réduire la distance à parcourir pour assurer le remplissage et la maintenance du réservoir.

A Madagascar, en milieu rural, les ménages bénéficient régulièrement d'un espace suffisant à proximité de leur habitation. Le droit foncier et titres de propriétés sont souvent gérés au niveau du Fokontany ou de la commune. Le ménage devra justifier de la propriété de son terrain avant toute installation d'un biodigesteur.

Selon l'étude réalisée par SNV en 2007 sur le potentiel biogaz des pays d'Afrique(24), **le potentiel technique de Madagascar permettrait d'installer entre 500 000 et 1 000 000 de biodigesteurs**, ce qui le classait parmi les 10 pays d'Afrique avec le plus grand potentiel.

3.5.2 Facteurs économiques et de marché

Les facteurs économiques et de marché permettent d'évaluer le potentiel du déploiement d'un projet biogaz au niveau macro-économique et micro-économique (du ménage).

Facteurs macro-économiques (développement de la filière)

Besoins et demandes

Avant de déployer un programme biogaz, une étude de marché doit être réalisée afin d'estimer le besoin et la demande des ménages. A Madagascar, la technologie biogaz n'étant encore que très peu diffusée à travers le pays, la demande est quasi inexistante surtout du fait que cette solution ne soit pas connue. En revanche, les besoins sont réels (comme présenté en Partie 1). Ainsi, de nombreuses activités de sensibilisation de la population ciblée devront être menées afin de les convaincre des bénéfices à long terme d'investir dans un biodigester (valorisation du biogaz et du digestat).

Solutions de financements innovants

Les coûts d'investissement d'un biodigester sont très importants (de l'ordre de 500 € à 1 500 € soit 1,5 millions d'Ariary à 5,5 millions d'Ariary) et restent inaccessibles pour la plupart des ménages. Ainsi, des solutions de financement au niveau national ou local dans la zone ou le pays de déploiement du projet doivent être mises en place pour faciliter l'accessibilité des installations aux ménages et assurer la durabilité et l'autonomie de la filière au niveau national. Les solutions peuvent être (i) l'accès à des instituts de microcrédits de proximité qui proposent des taux d'intérêt acceptables pour les ménages, (ii) des subventions gouvernementales qui permettent aux ménages de réduire leur apport financier ou (iii) des subventions obtenues au travers de la finance carbone.

A Madagascar, la Nouvelle Politique Énergétique lancée en 2015, n'a pas permis d'initier de réels appuis aux filières alternatives au bois-énergie. Aucune subvention gouvernementale n'est encore proposée. Il existe diverses agences de microfinance mais ces dernières ne sont que très rarement présentes en milieu rural et proposent très souvent des taux d'intérêt encore très élevés et des types de crédit totalement inadaptés à ce type d'investissement (crédit type petit commerce à fort taux revolving). Enfin, les financements obtenus par l'intermédiaire de la finance carbone ne peuvent être obtenus qu'à partir d'un nombre important d'installations qu'il est encore difficile d'atteindre à Madagascar.

Présence d'une filière forte et influente

La présence d'une filière forte (plusieurs acteurs regroupés comme AVSF et Etc Terra au Mali) ou de projets nationaux (comme ceux menés au Burkina Faso par SNV) permettent une communication importante auprès des ménages et une influence soutenue sur les réglementations et facilités d'accès à des solutions biogaz pour les ménages.

A Madagascar, aucun regroupement des acteurs biogaz n'est encore organisé. L'association Etc Terra et son partenaire l'OSDRM prévoient, dans le cadre de leur projet Biogaz Diana d'initier l'organisation de cette filière par la mise en réseau des acteurs.

Critères micro-économiques – au niveau des ménages

Apport financier des ménages bénéficiaires - Les nombreuses expériences biogaz réalisées dans le monde ont démontré que l'appropriation des installations biogaz passait par un apport financier des ménages (en plus des apports en nature).

A Madagascar, en milieu rural, les revenus sont encore bas et les ménages ont une gestion de leurs revenus à très court terme. Il est donc très difficile d'envisager qu'ils aient les capacités de financer directement un biodigester, voire une partie de ce dernier. Ainsi, une solution de microfinance doit être proposée et des formations (gestion et alphabétisation financière) mises en place. En revanche, dans certaines régions (comme au Nord de l'île), une partie des ménages ruraux ont des revenus relativement importants souvent liés à une ou des cultures de rente (cacao, vanille, girofle, etc.). Ces derniers sont en capacité d'investir pour obtenir un biodigester. Ainsi, ces ménages, souvent influents, devraient être les bénéficiaires d'une phase pilote afin de démontrer les bénéfices d'une telle installation et assurer une visibilité du projet pour un déploiement à plus large échelle.

Gains économiques liés à la technologie biogaz – pérennisation des installations

L'appropriation de la technologie biogaz passe également par la démonstration aux ménages du gain économique qu'ils peuvent obtenir grâce à l'installation d'un biodigester.

Comme présenté dans l'analyse économique en Partie 3.4.2, il est essentiel de prendre en compte (i) le gain de temps valorisable en Activités Génératrices de Revenus (AGR) via la réduction du temps de collecte du bois utilisé pour la cuisson, du temps passé par les femmes pour la cuisine

ainsi que du temps en arrêt maladie, (ii) la réduction des dépenses due à l'achat de bois-énergie pour la cuisson, de bougies, pétrole lampant ou piles pour l'éclairage ainsi que d'engrais chimique de type NPK et (iii) l'augmentation des revenus par l'augmentation des rendements des cultures grâce à une bonne utilisation du digestat et/ou la commercialisation de ce dernier.

A Madagascar, la raréfaction des ressources en bois est importante dans toutes les régions et le temps de collecte augmente significativement pour la grande majorité des ménages. Les maladies respiratoires sont responsables de nombreux décès prématurés. Bien que les dépenses en bois-énergie et engrais chimiques restent faibles, les ménages ruraux n'ayant accès à aucune solution durable pour l'éclairage ont des dépenses significatives régulières pour l'achat de pétrole lampant, de piles ou de bougies. Enfin, les rendements moyens des agriculteurs sont encore très faibles et peuvent donc être fortement augmentés par l'utilisation du digestat et la formation aux bonnes pratiques agricoles. L'utilisation d'engrais chimique étant encore relativement basse, une bonne démonstration des impacts de l'utilisation du digestat permettrait de créer un réel marché.

3.5.3 Facteurs sociaux

Les facteurs sociaux à prendre en compte concernent essentiellement l'amélioration des conditions de vie, l'appropriation de la technologie biogaz et l'implication des femmes.

L'Annexe 8.8.2 présente quelques détails additionnels dans le cas de Madagascar.

Amélioration des conditions de vie

Précarité énergétique- La technologie biogaz sera mieux acceptée dans des zones où l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson et des énergies fossiles pour l'éclairage est un problème majeur pour les ménages. Il faut mesurer la pénibilité de la collecte du bois, la difficulté de s'approvisionner en pétrole lampant, piles ou bougies et le manque d'offre d'énergies alternatives pour la cuisson et l'éclairage. En d'autres termes, l'appropriation de la technologie biogaz sera d'autant plus grande que la pauvreté énergétique impacte la zone ciblée. Les statistiques d'accès à une énergie durable et abordable pour la cuisson et l'éclairage en milieu rural à Madagascar sont désastreuses (cf. Partie 1.2). Plus de 95 % des ménages ruraux utilisent le bois-énergie pour la cuisson et aucune solution alternative abordable n'est proposée. Moins de 5 % d'entre eux ont accès à une solution moderne pour l'éclairage (connexion au réseau ou panneau solaire).

Problèmes sanitaires- La diffusion de la technologie biogaz permet l'amélioration de la santé des ménages bénéficiaires principalement via la réduction des maladies respiratoire et oculaires grâce à l'utilisation du biogaz au lieu du bois-énergie. Par ailleurs, elle permet, à plus faible échelle la réduction des maladies gastriques grâce à l'élimination des pathogènes du digestat et la connexion possible de latrines au biodigesteur et l'amélioration de la nutrition par l'augmentation des rendements et la diversification des cultures (dans les conditions propices – accès aux semences, climat favorable, etc.). Comme présenté en Annexe 7.1, les conditions sanitaires des ménages malgaches sont encore mauvaises et les taux de mortalité dus aux maladies respiratoires, aux diarrhées ou à la malnutrition chronique sont très élevés.

Appropriation de la technologie biogaz

L'appropriation d'un biodigesteur par un ménage dépend de nombreux aspects sociaux qu'il faut prendre en compte pour permettre la durabilité et la viabilité des installations. Les projets de déploiement devront s'assurer en amont que (i) les ménages bénéficiaires soient ouverts aux changements d'habitudes et de pratiques culinaires, (ii) les freins culturels et les tabous des zones ciblées par le projet ne sont pas en opposition avec le déploiement de la technologie biogaz et (iii) le niveau d'éducation des ménages bénéficiaires leur permette de comprendre les bénéfices générés par l'installation d'un biodigesteur. (cf. Annexe 8.8.2).

Implication des femmes

Le niveau d'implication des femmes dans les prises de décision des ménages ou la présence de groupements de femmes influents dans les zones de déploiement est un critère important. En effet, bien que la technologie biogaz soit multi-impacts, l'amélioration des conditions de vie réside en grande partie dans des tâches réalisées par les femmes (collecte du bois, cuisson, devoir des enfants, etc.).

La présence de groupements de femmes dans un village montre généralement leur indépendance et envie d'autonomisation. Ces groupements permettront également une meilleure communication sur les bénéfices du biogaz et donc une plus grande appropriation.

3.5.4 Facteurs environnementaux

La technologie biogaz permet de réduire la consommation de bois-énergie des ménages bénéficiaires et donc la déforestation, la dégradation des sols, la désertification, les émissions de GES, etc. Ainsi, plus la situation environnementale du pays ciblé par le projet est critique, plus l'acceptation, l'appropriation et le soutien des institutions dans le déploiement de cette nouvelle filière est probable. En effet, ces dernières réduiront leurs dépenses publiques pour la réhabilitation des forêts, l'amélioration de la qualité des sols, la dépollution des eaux, etc.

A Madagascar, la situation environnementale est très préoccupante (cf. Parties 1). En 2007, selon SNV, le pays était parmi les 8 pays les plus menacés du monde sur le plan environnemental. Pourtant, bien que le biogaz apparaisse comme une des alternatives les plus adaptées pour le pays (potentiels technique, social et environnemental), le gouvernement et les institutions n'ont pas encore proposé d'appui concret au développement de la filière et les opérateurs locaux sont obligés de faire appel à des subventions internationales.

3.5.5 Facteurs institutionnels et politiques

Stabilité politique du pays

Comme pour tout projet de développement, la stabilité politique générale d'un pays est nécessaire pour que son déploiement soit appuyé par les institutions gouvernementales et parviennent à atteindre ses objectifs.

Madagascar a connu plusieurs crises politiques depuis son indépendance, les dernières ayant grandement impacté le développement du pays ainsi que le retrait d'une grande majorité des organismes d'aides internationales. En conséquence, les projets de développement et de nombreuses activités économiques ont été arrêtés ce qui a placé le pays dans une situation très difficile. Depuis quelques années, les projets se remettent en place. Les élections présidentielles de la fin de l'année 2018 seront certainement décisives.

Politique environnementale et énergétique

Les politiques environnementales et énergétiques doivent être fortes et ambitieuses afin de répondre aux enjeux environnementaux des pays en développement et aux problématiques d'accès à une énergie propre et durable des ménages de ces pays. Un plan gouvernemental et un réel appui des institutions nationales sur ces thématiques sont essentiels au bon déploiement des solutions énergétiques alternatives au bois-énergie. Ces dernières doivent proposer des incitations financières (taxes et ou subventions, quotas, accréditations et certifications, permis, etc.) qui favorisent la formalisation du secteur.

A Madagascar, malgré la publication d'une Nouvelle Politiques Énergétique (NPE) en 2015, les appuis gouvernementaux et les progrès dans le domaine sont très minces. De nombreux projets se développent principalement par le biais des activités menées par des ONG dans le secteur du bois-énergie (diffusion de foyers améliorés, contrôle des exploitations forestières, plantation d'espèces à vocation énergétique, amélioration de la production de charbon, etc.) ou des énergies renouvelables (essentiellement biomasse, hydraulique et solaire), mais la mise à l'échelle sans appui financier de l'État reste très difficile. Cette NPE ambitieuse ne propose pas de solutions suffisamment concrètes pour atteindre ses objectifs. Dans le rapport de la NPE d'Aout 2015, l'utilisation du biogaz (produit à partir de balles de riz) est envisagée pour 20 % de la production d'électricité sur des mini-réseaux (qui représenteront 20 % de la production d'électricité globale du pays). Concernant les énergies alternatives de cuisson au niveau du ménage, la NPE ne cite pas le biogaz mais uniquement l'accès facilité aux foyers améliorés à bois et charbon et à l'utilisation du GPL et de l'éthanol. Ainsi, il est important de démontrer les intérêts de l'utilisation d'un biodigesteur pour un ménage agro-pasteur (multi-impacts – biogaz et digestat) auprès des institutions concernées pour inciter son intégration dans les politiques environnementales et énergétiques du pays et faciliter la mise en place d'une solution de diffusion à l'échelle du pays. Jusqu'à maintenant, aucune politique d'exonération de taxes ou d'aide financière n'a été mise en place par le gouvernement pour faciliter le développement de la technologie biogaz. En revanche, une législation est envisagée au niveau du Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures sur les bioénergies, dans laquelle serait intégré le biogaz.

Implication et volonté des institutions régionales et locales

Au-delà des réglementations au niveau national, il est essentiel que les institutions locales s'impliquent dans le déploiement des projets. Ces dernières peuvent avoir un rôle de sensibilisation

et de formation des populations locales ou de mise à disposition de ressources (humaines, matériels ou financières) pour le déploiement de projet d'accès à des solutions d'énergie renouvelable ou des projets de développement rural.

Dans le cadre d'un projet biogaz à Madagascar, les institutions locales à impliquer sont en premier lieu les Maires des Communes ciblées et chefs Fokontany, souvent très influents dans les zones rurales. Par ailleurs, les délégations locales de la Direction de l'Energie Alternative (DEA), Direction Régionale du Développement Rural si présentes dans les régions ciblées pourront être des soutiens très importants.

3.6 Analyse de la filière *biogaz* à Madagascar

Dans le cadre de cette étude, la rencontre des différents opérateurs biogaz à Madagascar a permis de mettre en évidence les forces et faiblesses de la filière *biogaz* existante à Madagascar présentées ici via 3 facteurs qui sont : l'adaptation des technologies proposées au contexte du pays, l'aptitude des opérateurs au déploiement et la communication et structuration de la filière. Cette partie propose donc l'analyse des atouts et lacunes des opérateurs identifiés et présentés en Partie 3.2.

3.6.1 Adaptation des technologies de biodigester proposées

Cette partie présente les forces et faiblesses des opérateurs mais plus particulièrement des caractéristiques techniques des modèles de biodigesteurs proposés à Madagascar.

Modèles de biodigesteurs

Performance des modèles

Au regard de la robustesse, le modèle entièrement maçonné et enterré proposé par FAFABI est le plus adapté. Il n'est que très peu dépendant des conditions extérieures comme la variation de températures qui peut inhiber la réaction de méthanisation ou les intempéries qui pourraient endommager le gazomètre du biodigester, etc. Les fuites sont plus rares qu'avec l'utilisation d'un dôme en bâche et dépendent fortement de la qualité de la maçonnerie. Ce modèle maçonné a une longue durée de vie, comme démontrée dans d'autres pays du monde, notamment en Asie (Chine et Inde) où des millions d'installations du même type ont été construites et sont encore fonctionnelles 20 à 30 ans après. Enfin, les performances de ce modèle sont très bonnes car la pression du biogaz semble suffisante (même en saison froide) et la production de biogaz quotidienne importante.

Le modèle à dôme flottant en bâche de camion proposée par JIRO, bien qu'*a priori* plus fragile que le modèle maçonné comporte une structure en cornière pour faciliter le flottage du gazomètre et des dalles en béton qui permettent de protéger la bâche des conditions extérieures. De plus, le contrepoids réalisé par les dalles permet d'obtenir une pression en sortie de la cuve suffisante (mais inférieure à celle du biodigester maçonné). Bien que la cuve soit enterrée, la partie bâche reste en contact direct avec l'air ambiant ce qui peut réduire les performances en saison froide. Le modèle conçu et construit il y a 5 ans à Madagascar est toujours fonctionnel sans avoir eu lieu d'y changer la bâche.

Les modèles avec une bâche flexible (proposés par ASENSE ou Sistema.bio), bien que garantis au moins 8 ans, semblent plus dépendants des conditions extérieures car les opérateurs ne prévoient pas de protection (toit anti-UV, anti intempéries, etc.) ce qui augmente grandement le risque de dommages. La pression du biogaz est insuffisante pour faire fonctionner correctement les terminaux de cuisson nécessitant alors l'utilisation d'une pompe supplémentaire électrique pour acheminer le biogaz.

Appropriation et adaptation aux ménages

Les opérations de maintenance et de vidange (qui devraient être réalisées entre une fois par an à une fois tous les 3 ans selon le modèle de biodigester) sont beaucoup plus simples pour les modèles à bâche flexible comme celui d'ASENSE puisqu'il s'agit de retirer la bâche (après avoir pris soin de brûler le biogaz) et de vidanger la cuve qui est entièrement ouverte. L'opération est similaire pour le modèle proposé par JIRO mais reste plus difficile car la structure du gazomètre est lourde et ne peut être manipulée par une seule personne. Les modèles maçonnés nécessitent l'ouverture du dôme par « cassage du chapeau ». L'ouverture est alors relativement petite (obscurité de la cuve) et la vidange difficile. Par ailleurs, le « chapeau » devra alors être recollé hermétiquement en faisant bien attention aux fuites potentielles.

Les modèles maçonnés disponibles à Madagascar étant construits à partir d'un moule et les modèles flexibles construits à partir de bâches importées, leurs volumes sont uniques. Seul le modèle proposé par JIRO permet aujourd'hui de construire des biodigesteurs de volumes différents et donc d'adapter et de dimensionner le biodigesteur pour obtenir la production de biogaz et de digestat en fonction des besoins du ménage.

Les modèles à dôme flottant ou bâche flexible semblent plus faciles à prendre en main par les bénéficiaires notamment du fait que le niveau de biogaz soit visuel (taille de la bâche ou niveau d'élévation du dôme flottant).

Méthode de construction

Au-delà des fonctionnalités mêmes des biodigesteurs, les matériaux et la technicité des constructions sont importants à prendre en considération afin de faciliter leur déploiement à plus grande échelle.

Matériaux utilisés

Le modèle de biodigesteur maçonné proposé par FAFAFI ainsi que celui de l'association JIRO sont des biodigesteurs qui ne nécessitent aucune importation spécifique (même si certains matériaux comme le ciment sont importés ils sont disponibles localement) pour la construction de la cuve et peuvent être installés à l'aide de matériaux et matériels simples et disponibles sur toute l'île. Il s'agit principalement de briques, ciment et fer rond. Le modèle proposé par JIRO nécessite aussi l'utilisation de cornières et d'une bâche de camion. Celui de FAFAFI nécessite l'utilisation d'un moule métallique. En revanche, les bâches des modèles en bâche flexible d'ASENSE ou de Sistema.bio sont importées et ne sont pas produites localement.

Concernant les terminaux (cuisson et lampes à biogaz), bien que ces derniers puissent être adaptés à partir de brûleurs à gaz butane, la qualité et la durabilité des modèles importés spécifiques biogaz étant supérieures, tous les opérateurs l'importent.

Enfin, concernant les raccordements (tuyaux, vannes, raccords en T ou en coude), les opérateurs les importent majoritairement. Certains de ces matériels sont disponibles localement mais ne sont pas forcément adaptés au biogaz et sont de qualité moindre.

Technicité et durée de construction

Le modèle de biodigesteur flexible proposé par Sistema.bio ne nécessite quasiment aucune compétence technique particulière. Selon la qualité du sol, seule une fosse simple en maçonnerie classique doit être réalisée avant d'installer la bâche flexible et le reste du matériel en kit. Les travaux sont très rapides (2 – 3 jours pour un biodigesteur domestique de volume inférieur à 10 m³) et ne nécessitent pas beaucoup de main d'œuvre. En revanche, tout le matériel étant importé, cela nécessite une logistique importante pour sa livraison dans les villages. Le cas est relativement similaire pour la technologie ASENSE qui nécessite en plus d'avoir une fosse maçonnée circulaire simple et le vissage de crochets pour installer la bâche du gazomètre. Les raccordements sont aériens et ne demandent donc pas de creuser des tranchées pour leur installation (mais cela implique une détérioration plus rapide des tuyaux). L'installation du biodigesteur ASENSE 8 m³) peut être réalisée en moins de 7 jours. Ces technologies peuvent donc être installées rapidement et par de la main d'œuvre relativement peu qualifiée ce qui permet un déploiement et un transfert de compétences facilités.

Le biodigesteur à dôme flottant proposé par JIRO utilise des matériaux locaux mais demande une technicité particulière pour la réalisation du gazomètre (bâche de camion cousue sur une structure en cornière). Par ailleurs, la cuve principale rectangulaire requiert l'installation de renforcement des murs (béton armé, chaînage). La livraison du gazomètre dans les villages peut être complexe si ce dernier est assemblé en amont. Les travaux sont un peu plus longs comparativement aux modèles en bâche flexible (9 à 14 jours pour volume de cuve de 6 à 9 m³) mais ne nécessitent pas beaucoup de main d'œuvre.

Enfin, le modèle proposé par FAFAFI (d'un volume de 10 m³) qui utilise un moule qui doit être transporté d'un chantier à l'autre et rester quelques jours pour le séchage du béton, nécessite une logistique importante (transport et optimisation lors de plusieurs chantiers en parallèle). Par ailleurs, la construction nécessite beaucoup de main d'œuvre pour la réalisation de certaines étapes et une connaissance pointue de la méthode de construction pour s'assurer de la qualité et de l'étanchéité de la cuve, principalement au niveau du « chapeau ». La construction dure en moyenne 12 à 18 jours selon la main d'œuvre disponible.

Coût des installations

En plus des spécifications techniques, le coût des installations est un critère crucial pour assurer le déploiement durable et pérenne à plus large échelle de la technologie à Madagascar (les ménages doivent être en mesure de financer leurs installations) et réduire les subventions extérieures (autre que des éventuels financements de l'Etat). De manière générale, l'installation d'un biodigester coûte encore très cher pour un ménage rural moyen. Le biodigester proposé par ASENSE reste à un prix bien plus accessible (même rapporté au m³) que le modèle JIRO mais surtout par rapport au biodigester maçonné qui est très onéreux et demande une part de subvention encore très importante (achat en matériaux, besoin en main d'œuvre, etc.).

3.6.2 Aptitudes des opérateurs

Cette partie propose d'analyser les aptitudes des opérateurs présents à Madagascar. Il s'agit de mettre en évidence leurs expériences et capacités techniques et organisationnelles pour un déploiement à plus large échelle de leur technologie.

Aptitudes techniques et expériences

Tous les opérateurs ont une connaissance technique précise des modèles de biodigesteurs domestiques qu'ils proposent. Pour certains, ils ont été formés à l'étranger par leur fournisseur ou par d'autres organismes et ont pu depuis monter en compétence via leur expérience (comme FAFAFI ou ASENSE) et d'autres ont conçu leur propre modèle à partir de leurs connaissances et expérience (comme JIRO ou Sistema.bio). Tous ont des expériences significatives dans la diffusion de biodigesteurs domestiques à Madagascar sauf Sistema.bio qui n'a réalisé qu'une installation collective de traitement des boues de latrines (et des installations domestiques majoritairement en Amérique Latine). Par ailleurs, tous les opérateurs ont déjà réalisé des transferts de compétences concernant les constructions et le suivi (maintenance) des installations. En revanche, les connaissances concernant la valorisation du digestat sont très faibles et ne semblent pas être une priorité. Bien que le digestat soit un facteur clé de succès de la diffusion de la technologie auprès de ménages ruraux, jusqu'à maintenant, aucune étude ou capitalisation concrète sur ce sujet n'a été réalisée à Madagascar.

Moyens financiers

ASENSE est la seule entreprise (fonctionnement à but lucratif) à Madagascar qui a très peu bénéficié de subventions extérieures pour la diffusion des biodigesteurs. Bien que certaines de leurs installations aient été réalisées pour des projets d'ONGs subventionnés, ils ont néanmoins réussi à construire de nombreux biodigesteurs auprès de ménages agro-pasteurs qui ont pris en charge l'ensemble des coûts. En revanche, le prix attractif qu'ils proposent (pour diffuser à plus large échelle et convaincre la population des bénéficiaires de la technologie) ne leur permet pas encore de pérenniser l'activité qui est donc également partiellement financée par leurs activités d'installation d'autres énergies renouvelables (solaire, éolien, etc.). Avec Sistema.bio (qui n'est pas présente à Madagascar), elles sont donc les structures les plus autonomes grâce à leurs fonds propres, mais seront limitées en cas de déploiement à grande échelle. Notons également que l'entreprise ASENSE est la seule à avoir installé des biodigesteurs dans différentes régions de l'île. Les autres opérateurs ont réalisé des projets dans une seule zone par manque de moyens pour le transport et le suivi des activités. ASENSE est également la seule structure à avoir importé du matériel biogaz à plusieurs reprises.

Enfin, les opérateurs ne réalisent que très rarement de suivi régulier des bénéficiaires d'une installation biogaz généralement par manque de financement pour pérenniser l'activité.

Moyens humains

Concernant les ressources humaines, en dehors de Sistema.bio qui ne dispose pas d'équipe locale, tous les opérateurs ont au moins un technicien biogaz local formé en mesure de réaliser les travaux de construction et les activités de suivi et de maintenance de manière autonome. En revanche, les équipes sont très souvent réduites et ne permettent pas de déploiement à plus grande échelle et dans d'autres régions que celles dans lesquelles ils travaillent jusqu'à maintenant.

Suivi des bénéficiaires - durabilité et viabilité des installations

Bien que la conception (caractéristiques techniques) d'un biodigester favorise sa durabilité, la formation et le suivi des bénéficiaires ainsi que l'entretien régulier des installations à court et moyen

termes sont des facteurs primordiaux souvent peu considérés par les initiatives biogaz. Madagascar ne fait pas exception. En effet, concernant les initiatives *biogaz domestique* qui subventionnent une partie du biodigester auprès des ménages (JIRO-Biogasy et FAFAFI), un faible suivi semble réalisé, principalement du fait que les bailleurs de fonds n'ont pas souhaité financer ces activités. Vu la quantité importante de biodigesteurs installés par FAFAFI et le manque de budget, l'organisation effectue un suivi très sommaire via le passage des techniciens agricoles (sur d'autres activités) dans les villages d'intervention. Les 27 installations de JIRO-Biogasy étant majoritairement à proximité de son site vitrine, l'association réalise des visites le plus régulièrement possibles à ses frais. De son côté, ASENSE a fait le choix de ne pas inclure de service de suivi dans le prix de ses installations pour qu'elles restent accessibles et ne prévoit donc pas de visite systématique de ces clients. En revanche, l'entreprise propose un service après-vente payant sur demande.

3.6.3 Communication et structuration de la filière

Communication et mesure d'impacts

Bien que la technologie biogaz semble adaptée aux besoins des ménages ruraux à Madagascar, elle est très peu connue, aussi bien au niveau des ménages que des institutions. Les opérateurs ont des expériences significatives souvent réussies mais n'ont jamais réalisé d'étude d'impacts qui leur permettrait de communiquer sur leurs initiatives au niveau national et de convaincre les institutions concernées des bénéfices du déploiement à plus large échelle des biodigesteurs domestiques.

Une telle démarche pourrait faciliter la mise en place d'une réglementation nationale voire de l'intégration d'un objectif biogaz dans la NPE et donc l'obtention d'un appui du gouvernement.

Structuration de la filière

Les opérateurs ne communiquent pas entre eux et ne connaissent que très peu les initiatives menées par leurs homologues. Les problématiques ne sont pas partagées et aucun consortium n'essaie de travailler pour permettre le renforcement de la filière biogaz au niveau national. Une plateforme d'échanges de ces opérateurs est en cours de lancement par l'association Etc Terra.

3.7 Recommandations et conclusion

3.7.1 Résumé de l'analyse

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs clés de succès dans le contexte de Madagascar et permet de mettre en évidence les facteurs critiques à faire évoluer pour que la filière puisse se développer et être durable. La partie suivante propose des solutions à mettre en œuvre dans ce sens. Un tableau plus précis est proposé en Annexe 8.8.3.

Facteurs		-- / - / + / ++	
Facteurs techniques	Potentiel technique macro	Conditions climatiques	+
		Disponibilité des matériaux	+
		Présence d'opérateurs expérimentés	+
		Robustesse des infrastructures - routes (enclavement)	-
	Potentiel technique micro	Agro-pasteur	++
		Bétail suffisant	-
		Valorisation du digestat	+
		Eau naturelle suffisante	-
	Opérateurs	Propriété du terrain	+
		Modèles de bio-digesteurs	++
Aptitudes		-	
Filière biogaz		-	
Facteurs économiques	Potentiels macro-économiques	Besoins et demandes	+
		Solutions de financements	-
	Potentiels micro-économiques	Apports financiers	--
		Gains économiques	+
Facteurs sociaux	Amélioration des conditions de vie	Précarité énergétique	++
		Problèmes sanitaires	+
	Apropriation de la technologie	Changements d'habitudes et freins culturels	-
		Niveau d'éducation	-
		Expériences précédentes	++
Facteurs environnementaux	Déforestation, Erosion, GES, etc.	++	
Facteurs institutionnels	Stabilité politique	+	
	Politique environnementale et énergétique	-	
	Implication et volonté	+	

Tableau 12 - Bilan des facteurs clés biogaz

3.7.2 Recommandations

Bien que de nombreux facteurs clés de succès soient remplis à Madagascar, certains facteurs restent à renforcer pour assurer le déploiement de la technologie biogaz à plus grande échelle et répondre aux enjeux majeurs de réduction de l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson.

Les infrastructures

Comme déjà évoqué, l'état des infrastructures (et principalement des routes) est désastreux. Ainsi, de nombreux villages ruraux sont enclavés et une très grande majorité de la population rurale n'a pas accès à tous les services de base (santé, énergie, etc.). Dans le cadre d'un projet biogaz, cela réduit les possibilités de sensibilisation des populations, d'enquête et de sélection des bénéficiaires. Par ailleurs, cela rend difficile les conditions logistiques pour les constructions et le suivi des installations. Cependant, le biogaz étant une technologie décentralisée, dans le cas où le ménage est convaincu des bénéfices qu'il retire de l'utilisation du biodigester et est bien formé à son entretien et sa maintenance, la technologie est tout à fait adaptée aux zones enclavées. Ainsi, des solutions doivent être trouvées pour permettre aux projets biogaz de bien sensibiliser les ménages bénéficiaires et d'avoir accès à ces villages au moins en saison sèche pour assurer les constructions. Aussi, les institutions concernées, aux niveaux national, régional et local doivent tout mettre en œuvre pour accompagner les projets dans la réalisation de ces activités dans une logique de changement d'échelle.

Bétail et eau

L'accès à l'eau et la possession de suffisamment de bétails (pour la biomasse) pour remplir quotidiennement le biodigester peut être un facteur critique pour l'obtention d'un biodigester pour de nombreux ménages ruraux à Madagascar.

L'approvisionnement en eau peut être un réel problème, notamment dans les régions du sud de l'île qui sont très sèches et manquent d'eau une grande partie de l'année. Ainsi, la technologie *biogaz* ne sera pas pertinente dans ces régions et d'autres solutions alternatives devront être proposées pour réduire l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson.

Les zébus sont majoritairement mal nourris et souvent uniquement en divagation. Ainsi, pour améliorer la santé des animaux, l'autosuffisance alimentaire mais aussi réduire l'insécurité liée aux vols de zébus et favoriser la production laitière (AGR), la pratique de la stabulation devrait être encouragée. Dans le cadre d'un projet biogaz, cela faciliterait également la collecte des bouses qui seront alors rassemblées dans l'enclos. Pour cela, les ménages doivent être accompagnés pour développer la culture de plantes fourragères (qui peuvent être associées avec des légumineuses) comme le fait déjà l'OSDRM dans ses zones d'intervention. Par ailleurs, il est encore difficile pour un ménage rural de posséder suffisamment de zébus compte tenu du coût d'achat (environ 1 000 000 MGA) bien que cela soit très important dans la culture locale (le zébu est sacré et représente le capital des familles). Des initiatives existent déjà comme celle menée par l'association Zébunet¹⁹ qui propose des microcrédits solidaires pour l'achat d'animaux (zébus mais aussi cochons et poules) à des taux faibles et adaptés à la rentabilité de l'activité d'élevage générée. Ce microcrédit est systématiquement accompagné d'un appui technique et vétérinaire pour optimiser les conditions d'élevage et assurer la bonne appropriation des techniques par le bénéficiaire.

Aptitudes opérateurs

Bien que plusieurs opérateurs biogaz soient présents et actifs dans l'installation de biodigesteurs à Madagascar, ces derniers disposent de petites équipes qui ont majoritairement réalisé des constructions à petite ou moyenne échelle. Cette situation est principalement due au fait que ces opérateurs manquent de moyens financiers. Parallèlement à la recherche de solutions financières pour développer la filière, il est primordial d'organiser la montée en compétences d'ingénieurs et de mains d'œuvre qualifiées dans le secteur biogaz pour renforcer cette filière et déployer cette technologie à plus grande échelle dans toutes les zones pertinentes du pays. Par exemple, comme le font déjà certains opérateurs ou projets (comme ASENSE, le CNRIT, Loowatt, etc.), des partenariats devraient être mis en place avec des universités afin de former des étudiants (technicien ou ingénieur) à cette technologie. Des maçons doivent être formés afin de devenir des techniciens biogaz et être en mesure d'assurer les constructions (suivi des chantiers, contrôle

¹⁹<https://www.zebu.net/cms/fr/home>

qualité, etc.) mais aussi le suivi et la maintenance des installations (point crucial pour la durabilité des biodigesteurs).

Filière

Bien que plusieurs opérateurs (associations, ONG ou entreprises) existent, la filière est mal structurée. En effet, les opérateurs ne communiquent pas entre eux et ne mutualisent pas leurs problématiques. La technologie biogaz ainsi que les initiatives existantes ne sont pas encore suffisamment connues auprès des institutions régionales et nationales qu'auprès de tous les ménages potentiels. En conséquence, la demande reste très faible et l'engagement de l'Etat insuffisant pour assurer le développement de la filière.

Les différents acteurs devront se regrouper et initier des échanges réguliers afin de créer un réseau et renforcer la communication sur les réussites et bénéfices du biogaz pour la population rurale à Madagascar au travers de capitalisations mutualisées. Il pourrait s'agir de mesurer le taux d'abandon (retour à l'utilisation du bois-énergie) vs le taux de remplacement des pièces défectueuses, le taux de valorisation du digestat ainsi que les performances des modèles installés depuis plusieurs années (durabilité des installations). Ces mesures, mises en commun par tous les opérateurs permettraient d'identifier plus concrètement les facteurs clés de réussite à Madagascar et de palier les faiblesses de la filière pour faciliter à terme un déploiement à plus large échelle. Les opérateurs pourront par exemple travailler sur des outils communs de communication ou l'initiation de démarches auprès des Ministères et institutions concernées pour inciter le gouvernement à mettre en place des normes et réglementations favorables au déploiement de cette technologie dans le pays. Enfin, ils pourraient envisager de grouper les commandes de matériels biogaz spécifiques qui nécessitent d'être importés pour faciliter les démarches administratives souvent fastidieuses et réduire les coûts d'importation.

Le financement des biodigesteurs et apports financiers des bénéficiaires

L'investissement initial pour l'obtention d'un biodigesteur est important, quel que soit le modèle choisi. Les ménages ruraux moyens du pays n'ont en grande majorité pas la possibilité de payer ces installations. Pourtant, les bénéfices (économiques, sociaux et environnementaux) de l'utilisation d'un biodigesteur, aussi bien au niveau du ménage qu'au niveau du pays sont conséquents. Ainsi des solutions doivent être trouvées pour développer et pérenniser la filière et ainsi permettre un déploiement à plus large échelle.

Mesures d'impacts et communication

La première activité à mener serait de démontrer (en pratique et non seulement en théorie) les bénéfices économiques et sociaux réels de l'utilisation d'un biodigesteur pour les ménages ruraux bénéficiaires. Les projets et opérateurs de biodigesteurs domestiques devraient réaliser des mesures d'impacts auprès de leurs bénéficiaires. Ils pourraient sensibiliser et communiquer sur les résultats obtenus et s'appuyer sur des exemples concrets et parlants pour inciter les ménages à trouver des solutions pour l'investissement initial. Il pourrait s'agir par exemple de l'organisation de visites inter-paysannes, de diffusion de vidéos d'illustration, de séances de sensibilisation, etc.

En parallèle, les projets devront s'assurer de trouver ou mettre en place des initiatives pour faciliter l'accès des ménages à des solutions de financement mais aussi renforcer leurs compétences en gestion financière (épargne, crédits, etc.) afin d'éviter toute situation d'endettement. Cela peut être le rôle par exemple de communautés ou d'associations locales paysannes. Bien que plusieurs solutions de financement existent, la situation actuelle du pays reste difficile pour les ménages ruraux qui souhaitent investir dans une telle installation.

Subvention des installations par une association ou un organisme non étatique

La solution actuellement mise en place par presque tous les projets de diffusion de biodigesteurs domestiques est la subvention extérieure. Les ménages bénéficiaires doivent fournir un apport en nature (briques, sable, gravier et mains d'œuvre) ce qui couvre près de 25 à 30 % de la totalité des frais d'installation. Le reste est subventionné par le projet, lui-même financé par des bailleurs de fonds internationaux. Cette solution est pertinente à court terme, dans l'optique de faire connaître la technologie et mettre en place des filières durables et pérennes mais ne peut être considérée pour du long terme (autonomie). Par ailleurs, il a été démontré que l'appropriation par les ménages est d'autant plus grande (pour le biogaz comme pour beaucoup d'autres technologies – installation solaire domestique, foyers améliorés, etc.) que leur participation l'est aussi.

Crédits et microfinance

Pour que les ménages puissent investir dans un biodigesteur, une solution de crédit doit leur être proposée car ils ne bénéficient que très rarement des fonds pour cela. Malheureusement, bien qu'en milieu urbain et périurbain les solutions de microfinance se développent, les milieux ruraux n'y ont que très peu accès. Par ailleurs, les conditions proposées par ces institutions de microfinance restent très difficiles à honorer pour la plupart des ménages (taux très élevés, remboursement sur des durées très courtes, etc.). Ainsi, il serait intéressant de valoriser la mise en place de solutions locales (comme des groupements d'épargnes communautaires) qui permettraient l'autonomisation des communautés et des conditions plus acceptables pour les ménages. En effet, ces groupements fonctionnent en local et sont basés sur la confiance entre leurs membres. Les taux sont fixés afin de générer un bénéfice pour le bon fonctionnement du groupement (investissement pour le groupement et non « profit » d'une entreprise bancaire). Le groupement n'exige pas de garantie bancaire. Les conditions de remboursement peuvent être adaptées selon les emprunts et besoins de chacun, etc. La promotion et mise en place de nouveaux produits de crédits plus adaptés à ce type d'investissement (délai de remboursement plus étalé, mensualité plus faible, etc.) pourrait également être faite.

Un appui gouvernemental et la finance carbone

L'implication du gouvernement dans le déploiement de la technologie biogaz est essentielle comme pour tout projet de développement de technologies innovantes à investissement important et retour sur investissement à moyen terme dans le domaine de l'énergie. Dans certains pays d'Asie mais également d'Afrique de l'Ouest, des Programmes Nationaux Biogaz majoritairement financés par des bailleurs internationaux sont menés par les Etats qui subventionnent alors une partie des installations et mettent à disposition des ressources humaines dans le déploiement du Programme. Cela permet une autonomie du pays et la création d'une dynamique économique locale. Des études dans certains pays sont en cours pour mesurer la pertinence de faire appel à la finance carbone pour le financement de la technologie biogaz via la réduction des émissions de GES. Ces financements pourraient aider le gouvernement dans la mise en place d'un Programme National.

L'aide apportée par le gouvernement peut être une exonération de taxes pour les opérateurs biogaz, le dédouanement des importations obligatoires de matériels spécifiques biogaz non disponibles localement, la mise en place de réglementations ou normes facilitant la diffusion de la technologie, etc.

Ainsi, le gouvernement doit accentuer sa prise de conscience de l'opportunité écologique et économique qu'apporte le développement de la technologie biogaz à Madagascar, en faire une priorité et apporter un soutien fort au renforcement de la filière pour réduire les coûts des biodigesteurs et aider les ménages à pouvoir en bénéficier.

Changements d'habitudes et niveau d'éducation

Le manque de connaissance sur l'utilisation du gaz et donc du biogaz (et la peur des risques induits) ainsi que la forte habitude des ménages ruraux à l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson sont des facteurs forts qui limitent le développement de la technologie biogaz à Madagascar. En conséquence, les opérateurs biogaz et tout autre projet dans ce secteur, doivent mettre l'accent sur la sensibilisation et la formation des bénéficiaires et ménages voisins des zones d'intervention à fort potentiel *biogaz*. Cette sensibilisation peut être réalisée à l'aide de campagnes (distribution de brochures, diffusion de films, réunions d'information, etc.). Dans les zones où des biodigesteurs sont installés et fonctionnels, des séances de démonstration peuvent être organisées. Il s'agira de démontrer les bénéfices directs de l'utilisation de cette technologie mais aussi d'expliquer les changements d'habitude induits par l'installation d'un biodigesteur. Ces séances de sensibilisation à l'utilisation du biogaz seront principalement tournées vers les femmes qui seront les utilisatrices principales des terminaux de cuisson.

De même pour l'utilisation du digestat, des parcelles de tests et des séances de démonstration permettront d'expliquer aux ménages cibles les bénéfices liés à l'utilisation de ce dernier et l'augmentation des rendements et donc des revenus induits.

Il faudra également envisager de sensibiliser la population à la gestion financière (épargne, investissement – même lorsqu'il s'agit d'apport en nature et retour sur investissement) pour démontrer l'intérêt d'investir dans un biodigesteur sur le long terme. Ceci pourra être fait par exemple à partir de calculs similaires à ceux réalisés en annexe 8.7.2 pour chaque ménage

bénéficiaire. Cette sensibilisation pourrait également être faite auprès d'opérateurs économiques ou de ménages plus aisés afin de les convaincre d'investir par eux-mêmes dans un biodigester. Ceci permettrait d'initier la pérennisation de la filière biogaz et de réduire la part de subvention extérieure pour une autonomie des opérateurs).

Stabilité politique

La stabilité politique au niveau local, régional et national est un facteur clé de réussite pour la mise à l'échelle et la durabilité des projets de diffusion de la technologie biogaz. Au niveau local, cela permet essentiellement de renforcer la communication auprès des bénéficiaires et ménages potentiels. Par ailleurs, les soutiens locaux mais surtout régionaux permettent d'assurer la cohérence des différents projets menés (principalement axés sur l'énergie, l'agriculture et l'élevage) par les différents acteurs tels que les ONGs, les opérateurs locaux, la population, etc. qui pourrait ainsi se regrouper au niveau régional en un programme. Ainsi, la stabilité et la motivation de ces institutions permettent l'intégration du volet biogaz dans les plans régionaux et stratégies de développement régionales de manière cohérente et durable. Ces institutions pourront également faciliter la remontée d'informations au niveau national pour inciter à la mise en place de programmes nationaux du même type.

La stabilité au niveau national impacte réellement le déploiement des nouvelles technologies alternatives au bois-énergie via les stratégies nationales en matière d'énergie mais aussi de développement. Par ailleurs, les situations de crise politique et donc de forte insécurité (engendrant le plus souvent une crise économique), comme celles rencontrées durant ces deux dernières décennies impliquent l'accentuation de la pauvreté, l'insécurité ainsi que le retrait des aides et organismes internationaux qui accompagnent ces filières ce qui impacte donc très fortement leur développement.

Politique énergétique

Comme précisé précédemment, bien que la Nouvelle Politique Energétique du pays évoque la technologie biogaz pour la production d'électricité à moyenne échelle, cette dernière n'aborde pas l'utilisation directe du biogaz au niveau domestique. Ainsi, l'Etat doit faire évoluer cette politique énergétique en intégrant cette possibilité de production de biogaz de manière décentralisée au niveau d'un ménage et la mettre en œuvre afin de faciliter les activités des opérateurs biogaz (importation, exonération de taxes, etc.). Par ailleurs, l'Etat devra également prévoir de mettre en place, en partenariat avec des IMF locales, des crédits spécifiques pour les investissements énergétiques durables (et notamment pour l'obtention d'un biodigester) afin d'encourager les ménages à investir dans cette technologie. Cette politique devra être mise en place en partenariat avec les opérateurs de la filière qui devront, quant à eux, mesurer et communiquer leurs impacts positifs et leurs besoins pour le renforcement de leurs activités au niveau national.

3.7.3 Conclusion

En conclusion, les conditions générales permettant le développement de la technologie *biogaz* sont remplies à Madagascar mais nécessitent un engagement accru :

- Des autorités locales, régionales et surtout nationales qui doivent mettre en œuvre des politiques concrètes d'appui au développement de la technologie dans le pays (exonération de taxes, système de financement des installations, etc.) ainsi qu'un travail plus général pour le désenclavement des villages ruraux ;
- Des opérateurs qui devront communiquer davantage sur leurs initiatives, mutualiser leurs expériences afin de créer une réelle filière et renforcer leurs capacités pour un déploiement à plus grande échelle ;
- De tous les acteurs concernés pour mettre en place une solution de communication massive auprès de la population et démontrer les bénéfices de l'utilisation d'un biodigester et ainsi augmenter la demande.

4 Présentation de la technologie foyer amélioré

4.1 Définition, historique et principes de fonctionnement

Définition(45)

On entend par foyer toute installation permettant de produire suffisamment de chaleur à partir de la combustion d'une ressource pour réchauffer ou cuire des aliments dans le but de les consommer ou de les conserver.

On entend par foyer amélioré tout foyer plus efficient qu'un foyer traditionnel ou 3-pierres. Il permet par exemple, d'utiliser une quantité moins importante de combustible (bois, charbon, gaz, etc.) pour une même activité (cuisson d'un kilogramme de riz par exemple) ou d'émettre moins de Gaz à Effet de Serre ou de fumées nocives.

Bref historique(46)



Les premiers foyers remontent à la découverte du feu par l'homme entre 300 000 et 400 000 ans avant J.C. A cette époque, les hommes utilisaient le feu pour se réchauffer. Ce n'est que 100 000 ans avant J.C. que l'homme utilisera le feu pour préparer et préserver les denrées alimentaires avec un foyer simple composé de pierres. Ce foyer restera prédominant dans le monde entier jusqu'au XVIII^{ème} siècle en Europe et l'est encore aujourd'hui dans la plupart des pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

En Europe, c'est l'augmentation du prix du bois due à une surexploitation et donc une pénurie de ce dernier, la découverte de nouvelles sources d'énergie (charbon, gaz, pétrole, électricité, etc.), le développement de nouvelles technologies (aluminium, lumière électrique, etc.) et le besoin de réorganisation des ménages (séparation de la cuisine) qui a amené le développement de nouveaux modèles de foyers comme le four, le réchaud à gaz, etc.



Dans la plupart des pays en développement, les foyers améliorés (au bois ou charbon) ont connu un essor au XIX^{ème} siècle. Mais la perte de traditions comme la poterie, le manque de matériels, le désengagement des pays



occidentaux suite à la décolonisation et les stratégies de diffusion des foyers souvent mal choisies et très changeantes ont impliqué une diminution de l'utilisation de ces foyers jusque dans les années 1980-90. Par la suite, les projets ont travaillé au design des foyers pour l'adapter aux populations et permettre de le produire localement, mis en place des logistiques de diffusion et de

commercialisation locales et adaptées au contexte de chaque pays, etc. De plus, le lancement par le Secrétaire Général des Nations Unies Ban Ki-moon de l'initiative « Energie durable pour tous » (SE4All²⁰), les innovations techniques et l'octroi de nouveaux budgets considérables à travers le « Global Alliance for Clean Cookstoves » ont permis un regain d'intérêt de la part de la communauté internationale et permettent des avancées significatives en matière de cuisson propre(47).



Principes de fonctionnement(48)

Un foyer fonctionne donc par la combustion d'une ressource (qui peut être du bois, du charbon, du gaz, du pétrole, des agro-carburants, des bouses séchées, des résidus agricoles, etc.) grâce à un apport d'oxygène présent dans l'air. La chaleur produite est transmise par :

²⁰<http://www.se4all.org/>

- Conduction : la chaleur se transmet par le contact entre deux matériels. Plus la surface de contact est grande, mieux la chaleur se transmet. La rapidité et l'efficacité de la conduction dépend aussi des caractéristiques des matériaux. Par exemple, le métal est plus conducteur que le bois ;
- Convection : la chaleur se transmet par le mouvement d'un fluide. Le fluide chauffé se dilate et voit sa masse volumique diminuée. Ainsi, il aura tendance à s'élever.
- Radiation : la chaleur est transmise par des ondes électromagnétiques (sans matière ou fluide). Les braises chaudes rouges émettent des radiations.

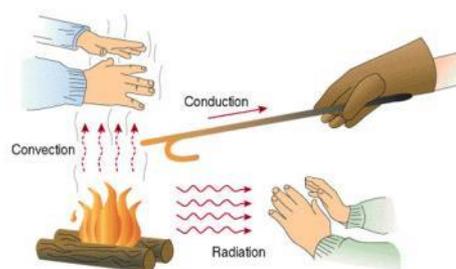


Figure 28 - schéma de principes convection, conduction et radiation

En plus de la chaleur, les foyers émettent des gaz qui ne sont pas souhaités. Ainsi, pour améliorer les performances d'un foyer il faut :

- Assurer la combustion complète de la ressource et des volatiles (conception de la chambre de combustion pour que le mélange air/gaz/flamme soit optimum, que la quantité de bois introduite soit adaptée, que les flux d'air froid soient limités, etc.) ;
- Améliorer les transferts de chaleur selon les trois modes de transfert en limitant toute perte (optimiser la distance entre les flammes et la marmite, augmenter la surface de contact, etc.).

De nombreux modèles de foyers améliorés ont été conçus dans le monde pour répondre à ces deux problématiques. Chacun d'entre eux est adapté au contexte local (habitudes culturelles, ressources brûlées, type de repas cuisinés, conditions climatiques, etc.). Ces derniers peuvent être fixes ou portables, en métal, argile, ciment ou briques, avec ou sans cheminée, etc.

4.2 Les enjeux des foyers de cuisson dans le monde(49) et en Afrique

Dans le monde

Dans le monde, 2,5 milliards de personnes utilisent des combustibles à base de biomasse (bois, charbon, déjections animales et résidus agricoles) pour la cuisson. La biomasse représente près de 80 % de la consommation totale de l'énergie domestique dans les pays en développement et jusqu'à 90 % en Afrique Sub-saharienne. Cela correspondrait à près de 2 millions de tonnes de biocombustibles qui partent en fumée chaque jour(50). Par ailleurs, l'Agence Internationale de l'Energie(51) estime que d'ici 2030, 100 millions de personnes supplémentaires utiliseront les combustibles traditionnels issus de la biomasse.

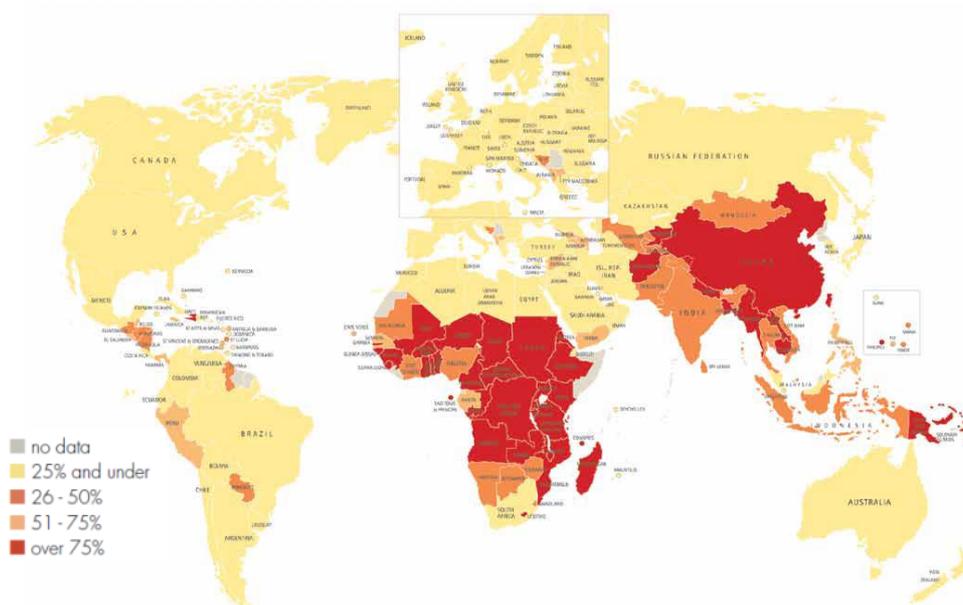


Figure 29 - Pourcentage de la population qui utilise des combustibles solides pour la cuisson (52)

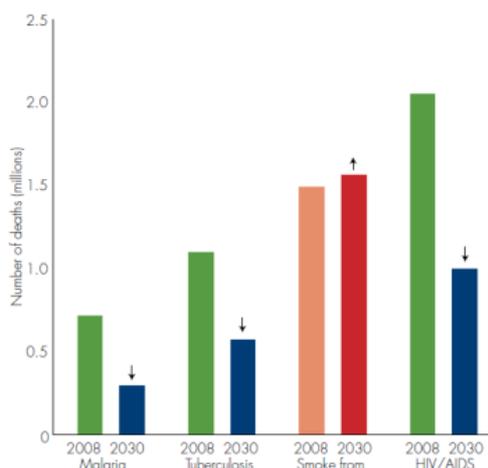


Figure 30 - Décès prématurés dus aux fumées de cuisson (54)

La combustion de ces biocombustibles en foyers traditionnels ou feux ouverts inefficients (qui ne valorisent que 12-17 % du bois brûlés) provoque l'échappement de fumées toxiques qui tuent 3,5 millions de personnes par an(52) (soit une femme ou un enfant toutes les 10 secondes) et les projections prévoient une augmentation du nombre d'ici à 2030(53). Par ailleurs, aujourd'hui, les émissions de gaz à effet de serre des ménages, essentiellement dues à la cuisson à partir de combustibles solides, représentent près de 25 % des émissions mondiales.

L'utilisation de combustibles solides issus de la biomasse en foyer ouvert a de nombreuses répercussions néfastes sur la santé de la population et sur l'environnement. Cependant, la plupart des énergies alternatives (présentées en Partie 1.4.2) restent inaccessibles pour les ménages ciblés. Elles sont généralement trop chères, souvent difficiles à obtenir (villages enclavés), rendent

majoritairement les ménages dépendants de fournisseurs ou sont tributaires des conditions climatiques, etc., ce qui n'est quasiment pas le cas avec le bois-énergie. En conséquence, le bois-énergie restera la ressource principale pour les ménages urbains et ruraux des pays en développement et il faut trouver des solutions pour réduire ces impacts négatifs. Dans ce contexte, de nombreux projets se sont développés dans le monde pour améliorer les conditions de cuisson. L'initiative majeure qui œuvre dans le domaine des foyers améliorés à bois ou autre combustibles est la **Global Alliance for Clean Cookstoves**²¹ (GACC), un partenariat Public-Privé animé par la Fondation des Nations Unies qui travaille à l'amélioration de la diffusion de foyers propres (clean cookstoves) en soutenant près de 1 700 partenaires (nationaux, Agence des Nations Unies, ONG, investisseurs, fondations, académies, entrepreneurs, coopératives, etc.) à travers le monde. Les cinq pays les plus impactés sont la Chine (plus de 10 millions de foyers diffusés entre 2012 et 2014), l'Inde (plus de 4,2 millions), l'Ethiopie (plus de 4,2 millions), le Cambodge (3 millions) et le Kenya (plus de 2,3 millions). En 2014, les partenaires de la GACC ont participé à diffuser près de 20 millions de foyers et ressources à travers le monde (55).

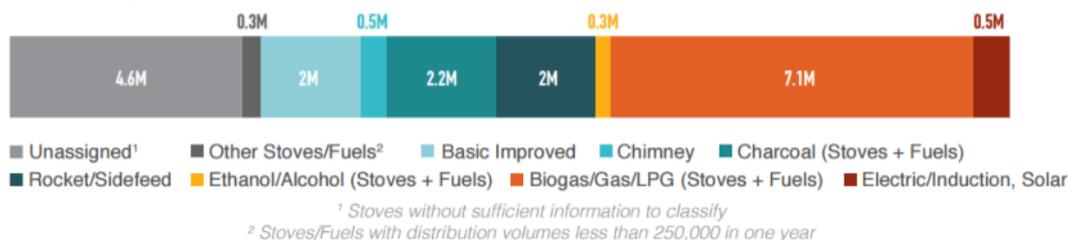


Figure 31 - Types de foyers diffusés dans le monde (GACC, 2014)

En Afrique(54)

L'initiative **Sustainable Energy for All** (SE4All) qui œuvre pour améliorer l'accès à une énergie moderne, fiable, abordable et sécurisée dans le monde (Objectif du Développement Durable #7) a réalisé un état des lieux en 2016-2017 (56) qui met en évidence les zones prioritaires pour le déploiement de ces projets d'accès à une énergie de cuisson propre. Ainsi, une grande partie des pays d'Afrique (dont Madagascar) connaît un taux d'utilisation d'énergie de cuisson propre inférieur 10 %. Par ailleurs, la plupart des pays qui connaissent une croissance nulle en termes d'accès à des moyens de cuisson plus efficace sont en Afrique (dont Madagascar).

²¹<http://cleancookstoves.org/about/>

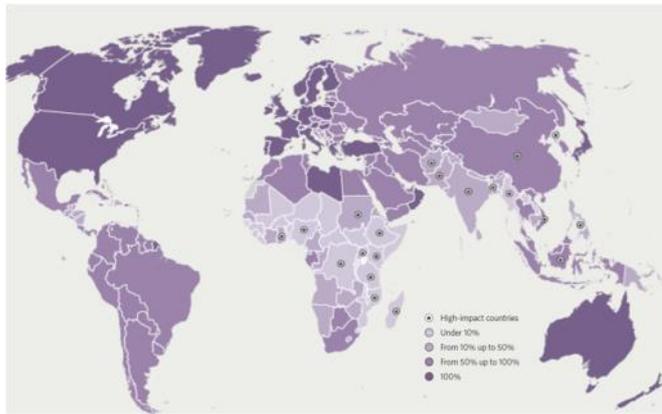


Figure 33 - Cartographie de l'accès à une énergie de cuisson propre dans le monde (SE4All, 2014)

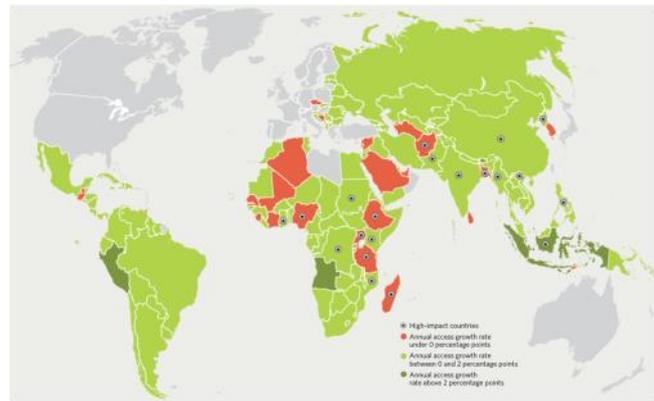
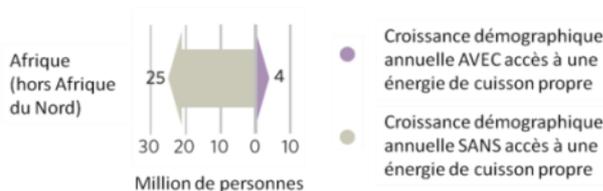


Figure 32 - Rapidité du développement des technologies de cuisson améliorées (2012 -2014)



Ainsi, l'analyse des deux cartes précédentes permet de mettre en évidence que le continent Africain rencontre de réelles difficultés à développer ce secteur alors que plus de 800 millions de personnes n'ont pas accès à une énergie de cuisson propre. De plus, la croissance démographique du continent est très rapide et la filière actuelle ne permet pas d'assurer une énergie propre à ces nouvelles personnes. D'autres initiatives, comme celle menée par EnDev²² permettent également à des millions de ménages ruraux des pays en développement d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine d'avoir accès à une énergie plus moderne dont l'accès à une énergie de cuisson plus propre comme des foyers améliorés.

4.3 Le bois-énergie, une solution durable ?

Une source d'énergie incontournable pour des milliards d'individus

Bien que de nombreux projets d'accès à des énergies alternatives se développent dans les pays en développement, ils ne suffisent pas à réduire la consommation de bois-énergie et la Banque Mondiale⁽⁵⁵⁾ prévoit que près de 2,8 milliards de personnes utiliseront encore cette source d'énergie pour la cuisson en 2030.

	2004		2015		2030	
	A	A	B	A	B	
Sub-Saharan Africa	575	627	741	720	918	
North Africa	4	5	4	5	4	
India	740	777	863	782	780	
China	480	453	393	394	280	
Rest of developing Asia	645	692	688	741	709	
Latin America	83	86	85	85	79	
TOTAL	2,527	2,640	2,774	2,727	2,770	

Tableau 13 - Projection du nombre de personnes qui utilisent le bois-énergie

Les raisons de cette utilisation du bois-énergie des pays en développement sont :

- La disponibilité du bois-énergie en comparaison aux énergies de cuisson alternatives (pas de dépendance des ménages) ;
- Le faible coût du bois-énergie (voire la gratuité pour le bois) qui reste donc accessible aux ménages aux revenus souvent faibles ;
- La facilité d'utilisation (ne nécessite pas de transformation) et les habitudes culturelles ;

²²<http://endev.info/content/Profile>

Ainsi, le bois-énergie sera une source d'énergie principale pour la cuisson pour de nombreux ménages pendant encore de nombreuses années et les projets mis en place doivent intégrer ces données et proposer des solutions durables (comme la diffusion de foyers améliorés à bois-énergie) pour maintenir les couverts forestiers des pays et améliorer les conditions de vie des ménages qui l'utilisent.

Une source d'énergie adaptée

Dans ces pays, la filière bois-énergie représente très souvent une réelle source d'activités économiques et crée de nombreux emplois au niveau de la collecte, du transport, de la transformation et de la revente. Bien que ces emplois soient encore majoritairement informels, ils permettent de subvenir aux besoins de nombreuses familles des zones rurales des pays consommateurs.

De plus, le bois, s'il est correctement géré (de la plantation ou du reboisement à la combustion) peut être une source d'énergie durable. Les technologies et techniques de production durable et d'utilisation efficace du bois-énergie sont disponibles, mais ne sont malheureusement que très rarement appliquées et diffusées dans les pays qui utilisent le plus cette source d'énergie.

Conclusion (58)

L'utilisation du bois-énergie est inévitable dans les pays en développement et les moyens de production et d'utilisation durables existent et sont assez bien maîtrisés. Aujourd'hui, manque principalement une réelle implication de tous les acteurs concernés (institutions et gouvernements locaux, population locale, bailleurs internationaux, etc.) pour mettre en place une dynamique économique formelle, reconnue et durable dans les pays concernés pour que le bois-énergie deviennent une énergie renouvelable, respectueuse de l'environnement (sans dégradation des espaces forestiers) et accessible à tous dans les meilleures conditions.

4.4 Les modèles de foyers existants

Dans cette partie, nous ne décrivons que les foyers à biomasse à savoir bois-énergie (bois et charbon), résidus agricoles, briquettes et bouses séchées.

Les foyers à gaz, éthanol, solaires ou électriques ne sont donc pas traités ici.²³

4.4.1 Les foyers traditionnels (bois-énergie, résidus agricoles, etc.)

Foyers traditionnels à bois (ouverts) (48)

Les foyers ouverts traditionnels, très utilisés dans les pays en développement ont les avantages suivants pour les ménages :

- Les feux ouverts émettent de la chaleur favorable en période froide ;
- Les flammes émettent de la lumière qui peut être utiles surtout la nuit ou lorsqu'il fait sombre ;
- Ils permettent une cuisson lente qui ne nécessite pas d'attention fréquente et permet donc de mener d'autres activités en parallèle ;
- Les fumées émises sont des répulsifs anti-moustiques.

En revanche :

- Ils ont un rendement très faible (généralement de l'ordre de 12-18 %) ce qui implique une consommation de bois très importante ;
- Les conditions climatiques ont une grande influence sur leur rendement (vent, pluie, température extérieure, etc.) ;
- Les fumées émises sont très nocives et gênent les femmes ;
- La cuisson est lente pour une utilisation de bois *normale* ;
- Les risques de brûlures sont importants.

²³ Pour plus d'information sur les foyers et combustibles, consulter le catalogue en ligne de Clean Cooking - <http://catalog.cleancookstoves.org/stoves> et la page consacrée aux divers combustibles - <http://catalog.cleancookstoves.org/fuel-types>

Foyer 3 pierres

Le foyer 3 pierres est le foyer traditionnel le plus utilisé. Il est gratuit et permet de cuisiner partout. Il est adaptable à la taille de la marmite en déplaçant les pierres. Sa durée de vie est relativement illimitée puisqu'il s'agit de trouver de nouvelles pierres.

Foyer Toko Telo



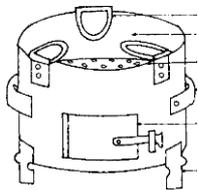
A Madagascar, le foyer le plus utilisé est le foyer Toko Telo qui s'apparente au foyer 3 pierres. Il s'agit d'un trépied simple en fer rond soudé ou relié avec des fils de fer. Il peut être facilement transporté, est abordable et fabriqué localement. Il est adapté à une gamme relativement large de marmites. Sa durée de vie est relativement longue

(3 à 5 ans).



Foyers traditionnels à charbon(56)

Foyers traditionnels en tôle



Les foyers traditionnels à charbon sont très majoritairement des foyers portables. Pour une utilisation optimale, la chaleur devrait être principalement transmise par radiation à la marmite, ce qui implique que cette dernière doit être située à proximité du charbon –le charbon est donc placé sur une grille en haut du foyer. La plupart des foyers à charbon traditionnels sont fabriqués à partir de ferraille et ne disposent pas d'emplacement pour poser la marmite qui se retrouve alors en contact direct avec le charbon et implique des dégagements toxiques de monoxyde de carbone (CO) non-brûlés à cause d'une mauvaise gestion de l'air (oxygène). Ils sont relativement légers et peuvent être facilement transportés. Leur durée de vie varie généralement de 6 mois à 2 ans selon les modèles.

En revanche, ils ne sont pas adaptés à toutes les tailles de marmites et possèdent un rendement relativement faible (autour de 20 %). Le charbon émet moins de fumées nocives que le bois, mais ces foyers ne minimisent pas ces dégagements essentiellement celui du monoxyde de carbone (CO) très nocif. A Madagascar, le foyer traditionnel utilisé pour cuire avec du charbon est le foyer Fatapera.



4.4.2 Les foyers améliorés

Un foyer amélioré domestique peut permettre d'économiser jusqu'à 60 % de combustible par rapport à un foyer traditionnel(49). De nombreux modèles ont été développés à travers le monde. Les foyers améliorés peuvent utiliser le bois-énergie ainsi que d'autres biomasses telles que les résidus agricoles. Quelques-uns de ces modèles sont présentés ici. Une large gamme de foyers améliorés est présentée sur le catalogue en ligne de la GACC²⁴.

Foyers améliorés à bois

Le bois (en comparaison au charbon) étant le combustible majoritairement utilisé en milieu rural, plusieurs technologies de foyers améliorés existent. On distinguera ici les foyers améliorés « fixes » (souvent constructibles par les ménages) et les foyers améliorés « portatifs » (souvent commercialisés).

²⁴<http://catalog.cleancookstoves.org/stoves>

Foyers améliorés à bois fixes

Ces foyers améliorés fixes permettent d'avoir un meilleur rendement que les foyers 3 pierres ou Toko Telo. Construits à l'aide de briques et/ou d'argile et/ou d'un mélange de terre et de paille pour mieux garder la chaleur, ils sont simples à fabriquer. Le bois est introduit dans la cavité inférieure sous forme de tige et avancé au fur et à mesure de sa combustion. La marmite est posée au-dessus du foyer. Le foyer peut être construit à l'intérieur avec une cheminée d'évacuation des fumées²⁵. Ils permettent d'éviter l'exposition à la fumée.

L'installation d'un tel foyer dans un ménage implique souvent des changements substantiels de fonctionnement. Cela nécessite alors une réelle acceptation et appropriation par le ménage et plus particulièrement par la femme responsable des activités de cuisson.

La dissémination de ces technologies fixes se fait majoritairement par une première formation de groupe dans un village puis une diffusion entre bénéficiaires.



Foyers améliorés à bois portatifs

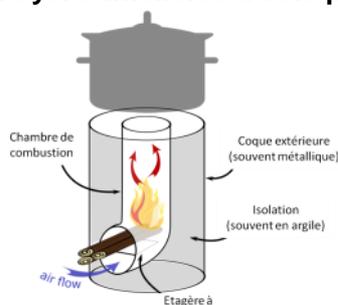


Figure 34 - Schéma de principe de fonctionnement d'un foyer amélioré à bois portatif

Bien qu'il existe une grande variété de foyers améliorés à bois portatifs, ils sont très majoritairement fabriqués à partir du principe de fonctionnement des foyers appelés « Rocket Stoves »(57)(48). L'entrée (petite ouverture) limite la quantité de bois qui peut être introduite (plus économique), l'entrée d'air froid dans la chambre de combustion et permet de brûler plus efficacement les petits morceaux de bois. La forme de la chambre



de combustion permet une meilleure circulation de l'air (oxygène) afin d'optimiser la combustion. La cheminée de la chambre de combustion permet la combustion des fumées par la flamme. L'isolation de la chambre de combustion maximise l'acheminement de la chaleur vers la marmite.

A partir de ces considérations techniques, divers modèles de foyers améliorés ont été conçus et adaptés selon le contexte des pays de diffusion.

Leur durée de vie varie selon la qualité des matériaux et des procédés de production mais est généralement autour de 2 à 3 ans.

Foyers améliorés à charbon de bois(56)

Les améliorations apportées aux foyers utilisés pour la combustion du charbon consistent essentiellement en :

- Leur durabilité (matériaux utilisés, conception du foyer, etc.) ;
- L'isolation (réduction des pertes de chaleur), la réutilisation de la chaleur produite par radiation (grâce à l'isolation) qui est dirigée vers la marmite ;
- L'optimisation des flux d'air (oxygène) pour améliorer la combustion du charbon ;
- La réduction des émissions de monoxyde de carbone (CO) par une combustion optimisée.

²⁵ Diffusion de foyers améliorés à fabriquer par les ménages au Malawi, Ripple Africa, 2013, <https://www.youtube.com/watch?v=LbuZsU28aLM&feature=youtu.be>

Ainsi, les foyers améliorés à charbon sont souvent fabriqués en céramique pour limiter les pertes de chaleur et/ou en tôle métallique. La marmite est placée le plus proche possible du charbon pour optimiser la transmission de chaleur par radiation, mais à une distance suffisante pour permettre une meilleure circulation de l'air et donc une combustion des gaz dont le CO transformé en CO₂ plus efficace.

Dans cette optique, de nombreux foyers améliorés à charbon ont été conçus à travers le monde afin d'être adaptés aux contextes locaux (taille des marmites, besoin en cuisson, etc.). Leur durée de vie varie selon la qualité des matériaux et des procédés de production mais est généralement autour de 2 à 3 ans.

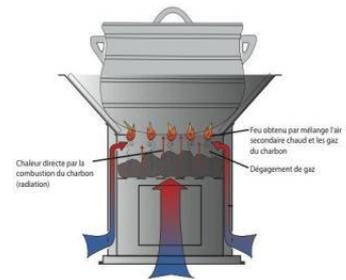


Figure 35 - Schéma de principe de fonctionnement d'un foyer amélioré à charbon



Foyers améliorés à combustibles alternatifs

Les combustibles alternatifs peuvent être des briquettes carbonisées ou non produites à partir de déchets (poussière de charbon, déchets organiques, résidus agricoles, etc.) ou des résidus agricoles utilisés directement sans transformation (bouses séchées, balles de riz, etc.). Dans le cas des briquettes et bouses, les foyers améliorés à charbon ou à bois sont très souvent compatibles avec leur combustion. En revanche, d'autres combustibles, comme la balle de riz, ne peuvent pas être brûlés dans des foyers améliorés à bois-énergie classiques. Ainsi, des foyers spécifiques adaptés sont conçus. Dans le cas de la balle de riz, les foyers adaptés sont des gazéificateurs qui permettent de récupérer le gaz émis par la combustion de la balle de riz pour produire une flamme qui va chauffer la marmite (61). Ces foyers produisent très peu de fumées et sont relativement hygiéniques mais demandent une surveillance importante pour l'écoulement de la balle de riz.



4.5 Les impacts et facteurs clés de succès des foyers améliorés

4.5.1 Les impacts des foyers améliorés

L'utilisation de foyer amélioré permet d'avoir :

- Des impacts économiques - aussi bien au niveau des ménages bénéficiaires par le gain de temps et la réduction des dépenses en combustibles que par la création d'une dynamique économique locale ;
- Des impacts environnementaux par la réduction de la consommation du bois-énergie pour la cuisson ;
- Des impacts sociaux par l'amélioration des conditions de vie des ménages et surtout des femmes (réduction des pollutions intérieures, etc.).

Pour plus d'information sur les impacts des foyers améliorés, une étude des impacts à Madagascar est proposée en Partie 9.2

4.5.2 Les facteurs clés de succès des foyers améliorés

Avant de déployer un projet de diffusion de foyers améliorés, il est essentiel de vérifier sa faisabilité et de s'assurer que les conditions sont réunies pour assurer son succès (appropriation). Il faut alors d'étudier les facteurs clés de succès de la zone d'intervention qui sont principalement :

- Techniques : les matériaux de fabrication doivent être disponibles, les modèles de foyers disponibles adaptés aux combustibles, etc. ;
- Économiques : les besoins et la demande doivent être suffisantes, les solutions de financement disponibles et les ménages doivent être en mesure d'acheter le foyer ;

- Sociaux : pour optimiser l'appropriation du foyer amélioré, la situation sociale doit être difficile (maladies respiratoires, temps de collecte du bois, dépenses en combustible importantes, etc.) et le niveau d'éducation des ménages suffisants pour comprendre les impacts de l'utilisation des foyers améliorés ;
- Environnementaux : une zone dans laquelle la pression sur la forêt est importante sera plus propice au déploiement d'un projet de diffusion de foyers améliorés ;
- Institutionnels et politiques : en plus de la stabilité politique, les institutions concernées doivent être impliquées dans les domaines énergétiques et la conservation. La mise en place d'une réglementation favorisant son développement est importante.

Ces différents facteurs sont détaillés et évalués dans le cadre de l'étude de cas de Madagascar présentée en Partie 5.5.

4.6 Conclusion

Les foyers améliorés sont diffusés à large échelle dans de nombreux pays en développement. Cette technologie est une solution adaptée pour les ménages des pays en développement car elle leur permet de réduire leur consommation de bois-énergie et d'améliorer leur condition de vie (réduction des fumées toxiques, gain de temps, etc.)

Ses multiples impacts (environnementaux, sociaux et économiques) sont bénéfiques à condition que la technologie soit bien appropriée par les bénéficiaires. Pour qu'un projet de distribution de foyers améliorés soit pertinent, il faut bien s'assurer que tous les facteurs clés de succès soient réunis ou prévoir des activités spécifiques pour les renforcer (l'appropriation des installations par les bénéficiaires, mesurer les impacts réalisés, etc.).

La partie suivante propose une analyse de la situation actuelle de la filière foyer amélioré à Madagascar.

5 Capitalisation du secteur foyer amélioré à Madagascar

5.1 Introduction et contexte de la filière à Madagascar

Introduction et contexte

Selon le WWF(3), en 2012, l'utilisation de foyers améliorés à Madagascar reste marginale (seul 4,8 % des ménages ruraux malgaches l'utilisent en 2015(6)) malgré l'intérêt porté par les consommateurs. Seuls des projets initiés par des bailleurs de fonds et ONGs, dont la durée d'intervention est limitée, ont réellement investi dans la promotion de ces derniers. Diverses initiatives existent dans plusieurs régions de Madagascar, mais il semble qu'aucune coordination globale ne soit effectuée jusqu'ici.

Toujours selon le diagnostic du WWF, il est primordial d'assurer de réelles campagnes d'information, d'éducation et de communication en matière d'utilisation économe de l'énergie et plus particulièrement du bois via l'utilisation de foyers économes. Il convient également de réaliser une capitalisation des expériences nationales en la matière afin de :

- Diagnostiquer le système de production des foyers améliorés (contraintes, stratégies d'organisation de la production, capacité de production, acquisition du savoir-faire, utilisation de matières premières locales, etc.)
- Déterminer les systèmes de marketing et modes de distribution les plus appropriés et efficaces (stratégies commerciales, réseau et logistique de distribution, etc.)

Cependant, selon l'initiative SE4All, en 2017, Madagascar reste un pays où moins de 10 % de la population a accès à une énergie de cuisson propre et où la croissance dans ce domaine est quasi nulle. De nouvelles initiatives émergent et tentent de répondre aux enjeux de la surconsommation du bois-énergie sur l'île mais les capacités de production et de diffusion restent faibles au regard du nombre d'habitants et de la croissance démographique du pays.

L'étude menée par le Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures(6) montre que les critères principaux pour le choix d'utilisation d'un foyer résident à plus de 40 % dans le prix, 26 % pour sa durabilité et 17 % pour sa rapidité de cuisson. Concernant le choix du foyer amélioré, les utilisateurs affirment employer les foyers améliorés pour plus de 52 % à cause de leur prix abordable et plus de 30 % pour leur durabilité.

Type de foyer utilisé	Amélioré	Mixte	Traditionnel	Total général
Raison du choix				
Disponibilité sur le marché	0,51%	1,02%	6,09%	7,61%
Durée et durabilité dans l'utilisation	1,52%	3,81%	21,07%	26,40%
Economique	0,00%	0,25%	1,02%	1,27%
Habitude	0,00%	0,00%	2,79%	2,79%
Pratique	0,00%	1,52%	2,03%	3,55%
Prix abordable	2,54%	6,60%	32,49%	41,62%
Rapidité de cuisson	0,25%	6,09%	10,41%	16,75%
Total général	4,82%	19,29%	75,89%	100,00%

Tableau 14 - Part d'utilisation des types de foyers selon les raisons des consommateurs (AIDES 2015)

En conséquence, il est essentiel que ces critères soient pris en compte dans le déploiement des projets de diffusion de foyers améliorés à Madagascar afin de répondre aux exigences des potentiels consommateurs et parvenir à des résultats concrets. Des normes et réglementations doivent être établies afin d'assurer une réelle appropriation et durabilité de la chaîne de valeur mise en place pour la commercialisation des foyers améliorés.

Utilisation du bois-énergie

Plus de 98 % des ménages malgaches utilisent le bois-énergie pour cuisiner. Une grande majorité utilise les foyers traditionnels (« Toko Telo » pour le bois et « Fatapera » pour le charbon). Plus de 77 % du bois-énergie consommé est ramassé (et non acheté) allant jusqu'à un 86 % en milieu rural(3).

Comme présenté en Partie 1.2, l'utilisation du bois-énergie a de nombreux impacts environnementaux, sociaux et économiques négatifs lorsqu'il est utilisé en foyer ouvert. En revanche, diverses études montrent que le bois-énergie avec une utilisation raisonnée (en foyer économe) dans un contexte maîtrisé (reboisement, filière bois-énergie organisée, production de charbon améliorée, etc.) est une énergie renouvelable, accessible, abordable et qui peut être

propre et saine. Par ailleurs, le bois-énergie ne peut pas être remplacé par des énergies alternatives du jour au lendemain à Madagascar. Bien que des projets y travaillent au niveau local (diffusion de foyers améliorés, de foyers éthanol, de biodigesteurs ou de four solaire) et que le gouvernement manifeste son intérêt pour le développement de ces nouvelles sources d'énergie, à ce jour, aucune réelle initiative nationale gouvernementale n'a été menée dans ce sens. De plus, la plupart des ménages ruraux n'ont pas les moyens d'investir dans de nouveaux mode de cuisson et résident souvent dans des zones enclavées (problème de livraison, d'installation d'infrastructure, etc.).

Ainsi, le bois-énergie restera l'énergie de cuisson principale des ménages ruraux (et très certainement urbains) à Madagascar dans les prochaines années et il est primordial de trouver des solutions durables et viables à cette consommation massive.

Dans la suite de ce rapport, nous ne traiterons pas de la filière bois-énergie dans son ensemble mais uniquement des améliorations possibles par l'utilisation de foyers améliorés.

5.2 Les acteurs et initiatives de la filière foyers améliorés à Madagascar

Il existe de nombreuses initiatives de production et/ou diffusion de foyers améliorés à Madagascar et il est difficile d'en faire une liste exhaustive de par leur dimension parfois très localisée. Ainsi, les initiatives présentées ci-dessous sont *a priori* les plus conséquentes.

5.2.1 Typologie des acteurs de la filière foyer amélioré

On distingue quatre catégories principales d'acteurs pour la diffusion de foyers améliorés à Madagascar.

Les opérateurs (producteurs et distributeurs)

Les opérateurs sont les organismes ou indépendants qui ont monté leur propre atelier de production de foyers améliorés et qui diffusent eux-mêmes leurs produits soit directement aux bénéficiaires / clients finaux soit par l'intermédiaire d'un distributeur (entreprises, ONG ou indépendants).

Les projets de diffusion de foyers améliorés

Les projets de distribution sont des organismes (entreprises ou ONGs) ou indépendants intermédiaires qui ne produisent pas de foyers mais s'en procurent auprès des producteurs pour les diffuser / commercialiser directement aux bénéficiaires / clients finaux.

Les organismes d'appui aux producteurs

Les organismes d'appui aux producteurs sont des ONGs ou organismes d'état (voire des producteurs mobilisés en tant que prestataire sur des aspects bien précis) qui accompagnent la mise en place d'une filière (plutôt locale ou régionale) de production et distribution de foyers améliorés. Ces acteurs accompagnent des artisans à la production de foyers améliorés (approvisionnement en matières premières, technique de production, machines, outils, etc.), aux aspects de gestion d'un atelier (gestion de la production, des stocks, des livraisons, etc.) et aux aspects commerciaux (prix de vente, communication, commercialisation, etc.). A termes, ces artisans seront autonomes dans la production et la commercialisation de leurs produits.

Les organismes spécialisés dans la formation des bénéficiaires à la fabrication des foyers améliorés en banco

Enfin, certains organismes choisissent de former directement les bénéficiaires finaux à la fabrication de foyers améliorés artisanaux en banco. Des formateurs se rendent dans des villages où un besoin a été identifié et proposent des sessions de démonstration et de formation à la construction de foyers améliorés à base de matières premières disponibles sur place (argile, terre, paille, sable, bouses, etc.).

5.2.2 Les opérateurs (producteurs et distributeurs)

Les opérateurs présentés ici sont classés par ordre décroissant de capacité de production annuelle. Ils sont décrits avec plus de détails en Annexe 9.1.1.

Producteurs artisanaux



De nombreux petits producteurs produisent des foyers améliorés artisanaux dans tout le pays. Il est très difficile de les identifier et donc de les recenser mais les marchés de toutes les régions proposent des nombreux modèles de foyers améliorés et très souvent produits localement avec des



techniques artisanales. Bien que chacun d'entre eux doit avoir une capacité de production relativement faible de par les moyens utilisés, il est assez certain que le nombre de foyers produits par l'ensemble de ces derniers dépasse largement la capacité de production de tous les organismes présentés ci-dessous.

Ces foyers améliorés ont des prix souvent très abordables (jamais plus de 5 000 Ar la pièce). Ils sont majoritairement constitués d'argile cuite ou de ciment pour la chambre de combustion (design proche des modèles proposés par les projets) et ont parfois une coque métallique en tôle de récupération peinte. Bien qu'ils aient généralement un meilleur rendement que les foyers traditionnels, la réduction de l'utilisation des combustibles n'est généralement pas suffisante (en comparaison aux autres technologies existantes, compte tenu des enjeux de déforestation, etc.). Par ailleurs, selon les enquêtes par divers organismes auprès de ménages, leur durée de vie est assez limitée (de l'ordre de 3 mois à un an maximum).

ADES

Présentation et historique

ADES (Association de Développement de l'Energie Solaire) est une association de droit Suisse qui œuvre à Madagascar depuis 2000 dans le secteur des énergies de cuisson. Jusqu'en 2009, l'association a uniquement proposé des fours solaires puis s'est diversifiée en produisant ses propres foyers performants. Aujourd'hui, les ventes de foyers améliorés augmentent tandis que celles des fours solaires diminuent.

Bien que l'activité principale d'ADES soit la production et la commercialisation des foyers améliorés à bois-énergie et des fours solaires, l'association travaille également à l'éducation à l'environnement (en milieu scolaire, auprès d'institutions – hôpitaux, prisons, cantines scolaires, etc., dans les villages) et finance des projets de reboisement.

Modèles de foyers améliorés

ADES commercialise des fours solaires et des cuiseurs solaires paraboliques qui permettent de ne plus utiliser de bois-énergie²⁶ ainsi que des foyers performants à bois et à charbon. ADES propose 3 modèles de foyers à bois-énergie :

- Petit modèle (28cm de diamètre) principalement destiné aux ménages ;
- Moyen modèle (45cm de diamètre) destiné principalement aux gargotes, restaurateurs ou ménages en famille nombreuse ;
- Grand modèle (60 cm de diamètre) destiné principalement aux institutions comme les hôpitaux, cantines scolaires, prisons, etc.

Ces foyers performants, principalement constitués d'argile malaxée et cuite pour la chambre de combustion et de tôle métallique peinte pour la coque, ont une durée de vie de 4 à 6 ans et permettent une économie de bois de près de 50 %.

ADES est accréditée auprès du Gold Standard ce qui lui permet de percevoir des crédits *carbone* lors de la vente de chaque foyer. Entre 2008 et 2016, ADES a



²⁶<http://www.adesolaire.org/index.php/fr/qui-sommes-nous-fr/notre-modeles-de-cuiseurs-fr>

permis de réduire près de 800 000 tonnes d'émission de CO2 grâce à la commercialisation de ses foyers améliorés.

Production des foyers améliorés

Ateliers de production

Afin de répondre à la demande croissante en foyer amélioré du pays, ADES dispose de deux ateliers de production et sous-traite une partie de sa production à deux ateliers externes (atelier Berma à Fianarantsoa et atelier Bionerr à Imerintsiatosika). Le premier atelier d'ADES situé à Tuléar est principalement chargé de la production des foyers solaires (fours et paraboles) et des seaux métalliques (coques) des foyers performants à bois-énergie. Le second atelier, situé à Fianarantsoa, produit les chambres à combustion et s'occupe de leur assemblage final avec les seaux métalliques. Grâce à l'utilisation d'un équipement mécanisé (broyeuse, malaxeuse, presses, etc.) et d'un nouveau four de cuisson des inserts, la capacité de production actuelle de cet atelier avoisine les 2000 foyers par mois.

La production est organisée selon les commandes provenant des centres ADES, des revendeurs particuliers sous contrat avec ADES ou des projets de diffusion massive tels que celui mené par WWF.

Ressources humaines et matériels

ADES emploie près de 150 personnes dont une soixantaine de techniciens, formateurs et animateurs et plus de 70 ouvriers techniques, agents de surface et de sécurité. L'association travaille avec 92 revendeurs de foyers améliorés à travers toute l'île.

Souhaitant augmenter sa capacité de production, ADES a beaucoup investi dans du matériel de production afin de produire à l'échelle semi-industrielle.

Diffusion des foyers améliorés et communication

Modes de diffusion

ADES diffuse ses foyers performants par l'intermédiaire de plusieurs canaux de distribution qui sont ses 8 propres centres ADES, des revendeurs accrédités (formés et contractés par ADES) ainsi qu'au travers de projets menés par d'autres ONGs. En dehors des projets ponctuels, l'association a une politique de prix unique (15 000 Ar par foyer) dans tous ses points de vente.

Sensibilisation et formation

En plus de la production et commercialisation des foyers améliorés, ADES réalise également des activités de sensibilisation des populations cibles (femmes et enfants des ménages utilisant du bois-énergie pour la cuisson) par l'intermédiaire de séances de démonstration dans ses centres et villages ainsi que des formations dans les écoles afin d'informer sur les aspects néfastes de la déforestation et les comportements à adopter pour la protection de la forêt.

Modèle économique

Actuellement, les revenus principaux de l'association sont des subventions obtenues via des dons de particuliers, des financements privés (entreprises ou associations) ou encore la finance carbone par l'intermédiaire du marché volontaire. Bien que la vente des foyers participe aux financements des activités de l'association, les revenus liés à la vente ne suffisent pas à assurer la viabilité de leurs activités. L'objectif d'ADES est de s'approcher de plus en plus d'un équilibre financier afin de pérenniser ses activités (principalement par la réduction des coûts de production) et réduire les aides extérieures.

Tandavanala²⁷

Présentation et historique

Entre 1999 et 2008, l'ONG Tandavanala était le « Comité Multi Local de Planification (CMP) ». Depuis 2008, elle s'est convertie en ONG pour plus d'autonomie dans la mise en œuvre de sa vision (« Corridor forestier mieux géré et bien gouverné au service des communautés locales vivant dans une meilleure condition de vie »). Elle travaille principalement dans la région de Fianarantsoa sur plusieurs axes stratégiques dont l'amélioration des conditions sociales économiques des communautés locales, axe dans lequel se situe le projet de production et distribution de foyers améliorés. Depuis 2010, l'ONG forme directement certains bénéficiaires à la confection du foyer amélioré KAMADO. Depuis fin 2014, Tandavanala



²⁷<http://www.tandavanala.org/>

fabrique ses propres foyers améliorés à bois et à charbon (appelé Tsinjoharena) via son atelier de production situé à Fianarantsoa. L'ONG a reçu un appui technique important du CNRIT qui a conçu ses foyers améliorés et l'a accompagné à mettre en place son atelier de production entre 2013 et 2014. Elle souhaite diffuser ses foyers auprès des ménages ruraux et urbains, associations paysannes locales, COBA ou groupements de femmes. L'ONG pourra également les commercialiser auprès d'autres organismes qui mènent des projets de diffusion à Madagascar.

Modèles de foyers améliorés



Le modèle de foyers améliorés KAMADO est décrit dans la description de JICA en Annexe 9.1.4.

Les modèles de foyers améliorés proposés par Tandavanala (à bois en noir et à charbon en rouge) et conçus par le CNRIT sont éligibles à l'accréditation carbone. Ils sont fabriqués à partir d'argile pour la chambre de combustion et de tôles métallique pour la coque.



Les tests de performance (TEE réalisés en laboratoire et TCC dans des conditions réelles auprès de 100 ménages) ont mis en évidence des réductions d'utilisation de bois-énergie allant jusqu'à 27 % pour le charbon et 66 % pour le bois. Enfin, ces tests ont permis de mesurer une réduction des émissions de GES de 3,3 tCO₂ et 3,6 tCO₂ par an respectivement par rapport au foyer traditionnel Toko Telo ou Fatapera. Enfin, la durée de vie de ces deux foyers est estimée à 5 ans.

Production des foyers améliorés

Les foyers sont fabriqués à partir d'argile (pour la chambre à combustion) et de feuille métallique pour la coque extérieure. 2 techniciens sont en charge de la gestion de la production et 7 ouvriers de la confection de la chambre de combustion à l'aide d'un broyeur, malaxeur et d'un boudineur mécanisés, de moules, tours manuels et petits outils de travail de l'argile. La cuisson s'effectue dans un four artisanal en briques non couvert à l'aide de balles de riz. La fabrication des coques métallique est réalisée à la main par une dizaine d'artisans externes à l'ONG formés par le CNRIT.



Ils travaillent principalement avec des scies à métaux, des ébarbeuses, etc. Pour fabriquer un foyer complet il faut compter une dizaine de jour de travail. L'atelier dispose également d'un local qui permet de stocker près de 5000 foyers. L'atelier de Tandavanala serait en mesure (de par leur matériel et main d'œuvre) de produire entre 800 et 1000 foyers par mois. Cependant, l'ONG rencontre des problèmes de fonds de roulement (liés aux ventes et à l'obtention des crédits carbone) qui ne lui permettent pas d'assurer l'approvisionnement continu en feuilles métalliques, onéreuses, qu'elle préfinance pour les artisans afin d'atteindre cette capacité de production tous les mois.

Mode de diffusion des foyers améliorés

Durant une première phase, l'ONG a choisi de former directement les bénéficiaires à la fabrication des foyers améliorés KAMADO puis a mis en place son propre atelier afin de fabriquer les foyers Tsinjoharena présentés ci-dessus. L'ONG a bénéficié d'une subvention du WWF qui lui a permis de diffuser à très bas coût près de 2500 foyers améliorés à bois dans la région de Fianarantsoa via des séances de démonstration et de sensibilisation entre 2015 et début 2017.



Dans l'optique d'avoir un modèle économique viable et durable, Tandavanala travaille à l'obtention de crédits carbone avec l'ICCO Cooperation et la réduction des coûts de production et transport pour commercialiser ses foyers améliorés à un prix plus réel, toujours via des événements

organisés par l'ONG dans des villages ciblés. A ce jour, l'ONG ne commercialise que ses foyers à charbon surtout en milieu urbain (moins connus de la population) et produit des foyers à bois stockés afin d'organiser une future commercialisation massive en milieu rural. Tous les clients des foyers Tsinjoharena sont répertoriés dans une base de données (grâce à l'utilisation du logiciel AkvoFlow). A l'achat, ils doivent systématiquement remplir une fiche utilisée pour le suivi de l'obtention des crédits carbone. Tandavanala réalise des visites périodiques auprès des bénéficiaires durant lesquelles elle effectue des enquêtes de satisfaction (réalisées par le vérificateur DOE - Designated Operating Entity certifié par l'UNFCCC). Dans le cas de la défaillance d'un foyer, Tandavanala est contraint de réaliser un diagnostic par un technicien spécialisé et de remplacer le foyer (gratuitement) en cas de dommage irréparable.



Perspectives

Afin d'obtenir les crédits carbone, l'ONG doit augmenter significativement sa production mais manque encore de fonds de roulement pour assurer l'approvisionnement des feuilles métalliques nécessaires à la production de la coque. Ainsi, elle recherche une subvention qui lui permettrait de dynamiser sa production et d'atteindre une pérennité sur le long terme.

5.2.3 Les projets de diffusion de foyers améliorés

WWF

Présentation et historique

Historique et présentation générale

Présent à Madagascar depuis 1963²⁸, le WWF déploie des solutions permettant de répondre à sa vision « une biodiversité préservée et des ressources naturelles mieux gérées pour un développement soutenable du territoire au profit de tous ». Dans cette optique, l'organisme contribue à la promotion de la gestion durable des ressources en bois-énergie, en agissant aussi bien au niveau de l'offre durable que de la consommation responsable en bois-énergie.



Projet foyer amélioré

Le WWF/MDCO travaille en tant que catalyseur dans la promotion de l'adoption des équipements de cuisson économes dans ses paysages prioritaires. Depuis 2008, l'organisme travaille par exemple dans la Région du Sud-Ouest, où les prélèvements de bois énergie sont très importants, alors que les ressources se régénèrent délicatement. Des analyses contextuelles de la situation offre/demande ont permis de mettre en place une stratégie de consommation responsable en bois-énergie de la population de cette zone. Depuis, cette approche menée dans la Région Sud-Ouest a été capitalisée et dupliquée dans d'autres régions d'intervention de MDCO et a permis d'alimenter les réflexions au niveau national et des actions de sensibilisation avec de nouveaux partenaires.

Présentation des projets de diffusion des foyers améliorés

Depuis mars 2013, WWF et l'opérateur ADES se sont mobilisés pour mettre en place des ventes promotionnelles d'équipements de cuisson économe à Tuléar. A ce jour, près de 5500 foyers améliorés ont été diffusés dans cette zone d'intervention.

A partir de 2015, suite au constat que certaines classes sociales n'avaient pas les moyens d'acheter le foyer amélioré proposé par ADES (2 à 3 fois plus cher que les foyers artisanaux), le WWF a décidé de travailler en partenariat avec la GIZ, principalement dans les régions Atsimo Andrefana et DIANA pour l'appui de producteurs locaux de foyers améliorés. Le WWF appuie les producteurs dans l'obtention de matériel permettant l'augmentation du rythme de production, tandis que la GIZ les accompagne dans le renforcement de leur capacité dans la gestion de leur microentreprise. A ce jour, cette initiative a permis de mettre en place 5 ateliers qui produisent près de 6000 foyers de cuisson économe par an.

²⁸<http://www.wwf.fr/?2340/WWF-50-ANS-A-MADAGASCAR>

En parallèle de ces projets, le WWF a travaillé à la promotion de la fabrication du foyer amélioré KAMADO au niveau des communautés locales en partenariat avec les jeunes membres du Club Vintsy et des ONGs et associations locales comme Tandavanala. La formation s'effectuait par transfert de compétences en cascade. Les formateurs



étaient en charge de former des agents relais des Comités de Base (COBA) locaux et des clubs Vintsy qui formaient à leur tour les bénéficiaires finaux via l'organisation de formations collectives. Ces formations étaient gratuites et financées par le WWF. Les bénéficiaires sont également sensibilisés sur les risques environnementaux liés à la déforestation et aux bénéfices d'une consommation responsable en combustible ligneux.



La mangrove de la région DIANA étant particulièrement menacée, le WWF a choisi de déployer un projet de diffusion des foyers améliorés en 2016. Dans un premier temps, le WWF a renouvelé son partenariat avec ADES afin de commercialiser des foyers améliorés dans le district d'Ambilobe à des prix réduits. Une étude est en cours afin de mesurer le taux d'adoption des foyers et de mieux comprendre les facteurs clés d'appropriation de la technologie dans la région. Près de 6000 foyers ont été diffusés. Maintenant, le WWF souhaite réduire les opérations de « diffusion massive » sur une durée déterminée pour s'orienter vers des solutions de diffusion plus pérennes et locales.

Satsimami



Satsimami est une entreprise qui commercialise en premier lieu du charbon propre et économique fabriqué à partir de poussière de charbon (résidus non utilisés), de déchets carbonisés, d'eau et de liant naturel. Il est commercialisé dans des grandes surfaces ou autres points de vente en sachet de 1 kg (700 Ar), 3 kg (2 100 Ar), 5 kg (3000 Ar) ou 10 kg (6000 Ar). Le charbon est produit dans deux usines (une à Ivato et une à Moramanga). La capacité de production avoisine les 3 – 4 tonnes par jour.

Son directeur, Monsieur Christian a travaillé de nombreuses années dans le domaine de la céramique (production de vases et pots de fleurs) pour l'exportation jusqu'en 2009 où il est devenu gestionnaire d'une briqueterie.

Dans le domaine des foyers améliorés, Satsimami propose des foyers améliorés en argile à charbon pour la cuisson ainsi que pour le chauffage de poussinière.

Bien qu'il dispose de tout le matériel pour produire des foyers améliorés, ce dernier a choisi de s'approvisionner auprès d'artisans producteurs de foyers améliorés à Mahitsy (35 km d'Antananarivo) et les distribue à ses clients.

Aujourd'hui, concernant le foyer amélioré à cuisson, Satsimami le diffuse de deux manières différentes :

- Soit le client achète le foyer amélioré ;
- Soit le client a acheté une quantité importante du charbon proposée par l'entreprise et reçoit alors un foyer amélioré en cadeau.

Ainsi, l'entreprise écoulait près de 500 foyers améliorés par mois sans subvention.

Concernant les foyers améliorés pour le chauffage de poussinière, Satsimami les commercialise auprès de grands producteurs d'œufs et de poulet à Madagascar tels AVITECH ou la Hutte Canadienne.



5.2.4 Les organismes d'appui aux producteurs

ECO-GIZ

Présentation et historique du projet foyers améliorés

Présente à Madagascar depuis 1982, la GIZ travaille avec de nombreux partenaires institutionnels sur les politiques environnementales, la protection et la gestion des ressources naturelles, les politiques énergétiques, la gestion des crises, etc. Depuis 2015, la Coopération Internationale Allemande pour le Développement, en partenariat avec Eco-Consulting (ECO-GIZ) mène la phase 2 du Programme d'Appui à la Gestion de l'Environnement (PAGE) qui a pour objectif d'améliorer les conditions pour une protection et utilisation durables des ressources naturelles à Madagascar par des acteurs pertinents. La deuxième composante de ce PAGE consiste à améliorer la diffusion et la professionnalisation de la chaîne de valeur énergie biomasse pour réduire l'utilisation des combustibles (une des causes majeures de pressions sur les ressources naturelles/forestières dans 3 régions DIANA, Boeny et Atsimo-Andrefana). Parmi les activités de cette composante, il est prévu d'accompagner, de former et d'appuyer des artisans à la production et la commercialisation des foyers améliorés.



Modèles de foyers améliorés

Les artisans proposent plusieurs modèles de foyers améliorés à bois, charbon de bois ou mixtes. Ils sont fabriqués à partir d'argile rouge, de terres rouge et noire et d'un mélange sable/ciment pour la finition ainsi que d'une coque métallique et ont une durée de vie estimée entre 2 et 3 ans.

Transfert de compétences

ECO-GIZ promeut la production locale de foyer amélioré en appuyant des artisans à produire des modèles de foyers améliorés par :

- La formation au processus de production, à la gestion financière de l'unité de production et à la communication (publicité, marketing) ;
- La fourniture de matériel (four de cuisson, rouleuse, plieuse, etc.) ;
- Un appui à la commercialisation des foyers produits (mise en place de kiosque de commercialisation, mise en réseau des acteurs de la chaîne de valeur, appui marketing, etc.).

L'objectif est que cette chaîne de valeur soit autonome et viable à la fin du projet, c'est-à-dire que tous les acteurs impliqués (production, transport, commercialisation) puissent gagner leur vie dignement grâce à la diffusion des foyers améliorés.

Durabilité

En dehors des subventions reçus pour la mise en place de la chaîne de production (formation initiale, appui continu et fourniture de matériels) et de la mise en valeur des points de vente, aucune subvention financière n'est fournie par le PAGE. Le prix de vente des foyers améliorés correspond aux coûts opérationnels (avec marge) des acteurs impliqués dans la chaîne de valeur et dépend donc des zones de diffusion.

Le PAGE réalise régulièrement des enquêtes panels et des outils marketing ont été développés afin de tester la satisfaction des cibles et de conseiller les artisans dans l'amélioration de la qualité des produits.

Planète Urgence / CIRAD / LLD

Présentation et historique des organisations partenaires

Présentation des organismes

L'association française de solidarité internationale Planète Urgence, créée en 2000 développe deux programmes : Congé Solidaire® et Environnement & Développement (ED).

A Madagascar, entre 100 et 120 volontaires sont accueillis chaque année en mission courte par Planète Urgence pour travailler dans les domaines de l'appui socio-éducatif et de la biodiversité. Le programme ED initié en 2008 à Madagascar travaille sur 3 projets de protection des forêts de Tapia, reboisement de proximité et efficacité énergétique.

Le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) appui les politiques publiques des pays en développement pour améliorer la sécurité alimentaire, réduire les inégalités et le changement climatique et lutter contre la pauvreté au travers de recherches principalement axées sur l'innovation et le développement agricole. A Madagascar, les 25 chercheurs affectés travaillent sur de nombreux domaines dont la valorisation de la biodiversité, la gestion des services environnementaux, la promotion de l'agroécologie, l'efficacité énergétique de la biomasse, etc. Outre ses activités de recherches, le CIRAD met en œuvre plusieurs projets relatifs au développement rural (agriculture, environnement, etc.)

L'association LLD créée en 2015 regroupe plusieurs consultants experts dans les domaines de la filière bois-énergie (promotion de la chaîne de valeur charbon de bois et foyers améliorés), foresterie, etc.

Présentation du projet

En mars 2015, Planète Urgence lance le projet AFIBERIA (Appui à la Filière Bois-Energie en Région Itasy et Analamanga) financé en grande partie par l'Union Européenne qui a pour objectifs de formaliser et structurer la filière bois-énergie dans ces deux régions (reboisement, appui à la carbonisation améliorée et diffusion des foyers améliorés).

En parallèle, le CIRAD lance son projet ARINA²⁹, également financé par l'Union Européenne, qui a pour objectif spécifique de « Renforcer durablement les capacités de production en bois-énergie des populations rurales organisées en collectifs dans les domaines de la plantation forestière, de la carbonisation, de l'efficacité énergétique et de la commercialisation des produits. ». Parmi les résultats attendus, 30 000 foyers améliorés doivent être produits par 18 artisans formés et accompagnés par le projet dans la région Analamanga.

Ces deux organisations ont fait appel à l'association LLD qui a réalisé une étude de marché des foyers améliorés dans les régions Analamanga et Itasy puis a travaillé à la mise en place de 18 ateliers de production de foyers afin de produire 70 000 foyers sur 3 années. Les activités principales sont la recherche des sites d'argile, la formation des artisans (technique et de gestion), la mise en place des ateliers (appui matériel et financier), la conception d'une stratégie marketing et un appui à la commercialisation des foyers améliorés produits ainsi que la conception et la mise en œuvre de systèmes de suivi-évaluation, de commercialisation, de traçabilité et de certification.

Modèles de foyers améliorés

Le modèle de foyer amélioré promu est le foyer à charbon 3M (Mitsity – Econome, Mateza – Durable, Mora – moins cher) proposé par le CNRIT. Il est fabriqué à partir d'argile, de terre rouge, de sable et de tôle neuve. Il mesure 25 cm de diamètre et pèse entre 8 et 10 kg. Ce dernier a été choisi suite à l'étude de marché et la réalisation de tests de performance sur les modèles de foyers améliorés identifiés. L'économie de charbon de bois allant jusqu'à 29 % (par rapport au foyer traditionnel) pour un rendement maximum de 31 %.



Production des foyers améliorés

LLD a mis en place 18 ateliers de production de foyers améliorés. Pour atteindre les objectifs fixés par les projets ARINA et AFIBERIA chaque atelier devra avoir une capacité de production entre 180 et 250 foyers par mois.

Les ateliers ont été dotés de petits outillages (moules, couteaux, marteaux, burins, cisailles, etc.) pour le travail de l'argile et de la tôle. L'approvisionnement en matière première se fait chaque semaine au niveau local (argile, terre rouge et sable) ou auprès de fournisseurs à Antananarivo (tôle, peinture, etc.)

Dans chaque atelier les artisans sont responsables de la préparation de l'argile, la cuisson des inserts, la préparation de la tôle ainsi que l'assemblage et la peinture des foyers.

²⁹<http://www.asamada.eu/portfolios/projet-arina/>

Diffusion des foyers améliorés et communication

Les foyers améliorés sont disponibles dans des points de vente, dans la centrale d'achat mise en place par le projet et directement à l'atelier. Le prix de vente conseillé est de 6 000 Ar.

Le projet prévoit d'accompagner la mise en place de la filière par de la communication via la réalisation de campagnes de sensibilisation de masse et de publicités (spots télévisés, spots radios, le collage d'affiches, etc.). Bien que les clients finaux ne soient pas formés à l'utilisation des foyers améliorés, un guide d'utilisateur leur est fourni à l'achat du foyer.



Le projet souhaite que les ateliers soient viables et que les prix de vente des foyers améliorés permettent aux producteurs (artisans formés) ainsi qu'aux revendeurs de bénéficier d'une marge et donc d'un revenu décent avec cette activité.

5.2.5 Les organismes spécialisés dans la formation des bénéficiaires à la fabrication des foyers améliorés en banco

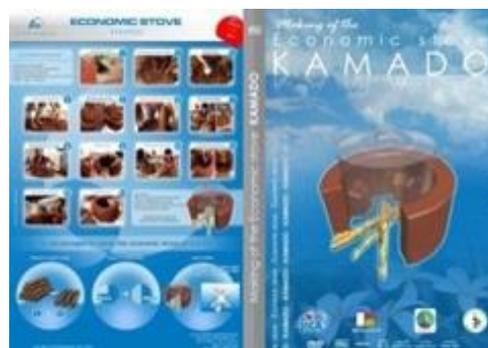
JICA

Présentation et historique de la JICA

L'agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA), présente à Madagascar depuis 2003, intervient dans les domaines de l'Agriculture/Développement rural, le Développement économique/Infrastructure, et le Développement du secteur social particulièrement l'Éducation de base et la Santé publique. La JICA a développé un concept appelé « Seikatsu Kaizen³⁰ » (Amélioration des conditions de vie) qui consiste à mettre en place des solutions adaptées aux conditions locales en réponse à des problèmes identifiés par les communautés ciblées. Cette approche vise donc le changement de mentalité de chaque individu pour qu'il devienne créatif et recherche des solutions à ses problèmes par lui-même. A Madagascar, dans ce contexte, la JICA travaille sur 7 thématiques dont « l'environnement et les énergies renouvelables », dans laquelle elle a mis en place son projet de foyer amélioré KAMADO et de fabrication de charbon locale à partir de ressources organiques disponibles localement (herbacées abondantes par exemple).

Modèle de foyer amélioré

Le modèle de foyer amélioré proposé par la JICA est le foyer KAMADO à bois. Il est fabriqué à partir de matériaux locaux simples comme l'argile, la terre rouge, la cendre, la paille et de l'eau. Ce modèle a été créé par un volontaire japonais avec les habitants de la commune d'Andramasina puis testé et approuvé par le Ministère de l'Environnement et le Ministère l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Leur durée de vie est estimée à 2 ans.



Mode de distribution

Ce foyer est diffusé via la formation des bénéficiaires. En effet, suite à la conception du modèle KAMADO et à la phase pilote de diffusion réalisée par la JICA, le WWF et l'ONG Tandavanala, convaincus par l'approche et le modèle, ont organisé des sessions de démonstration et de formation dans leurs zones d'intervention. La JICA a réalisé et distribué des brochures de communication expliquant les étapes de fabrication du foyer pour permettre une plus large diffusion de la technique. Par ailleurs, des campagnes massives de communication par la radio et la télévision ont permis de faire connaître le modèle à plus large échelle.

³⁰ Documentation complète sur l'approche Seikatsu Kaizen : <https://www.jica.go.jp/madagascar/french/office/others/publications01.html>

AgriSud

Présentation et historique

L'ONG AgriSud créée en 1992, accompagne la création de Très Petites Entreprises (TPE) familiales principalement dans le secteur de l'agriculture en Afrique, Asie, Amérique Latine ou en France afin de lutter contre la pauvreté et l'exclusion économique et sociale. Présente à Madagascar depuis 2005, AgriSud³¹ mène divers projets de renforcement des capacités en gestion de TPE agricole, de professionnalisation des filières agricoles, de conservation des forêts, d'accompagnement de producteurs dans l'évolution de leur système de production (agroforesterie et foresterie), etc.

Dans la région ITASY, l'organisation travaille depuis en partenariat avec le Conseil Régional d'Aquitaine à la professionnalisation de l'agriculture par le renforcement technique et économique sur la production agricole, la gestion des exploitations et la commercialisation des produits. Pour ce faire, le projet a formé près de 240 *Maitres-Exploitants* sur 12 thématiques qui accompagne chacun 15 producteurs en moyenne et a mis en place une structure d'accueil pour les formations délivrées par les *Maitres-Exploitants*. Suite à des constatations sur le terrain, à une demande accrue des ménages ciblés par le projet et à l'expérience de collaborateurs du projet, l'organisation a décidé de déployer un module de formation à la construction de foyers améliorés à bois et à charbon.

Caractéristiques techniques et fabrication des foyers améliorés

Les foyers améliorés proposés sont des modèles à bois ou à charbon adaptés à différentes tailles de marmites les plus répandues dans la région (de 24 à 36 cm de diamètre). Il s'agit du modèle KAMADO proposé par l'organisation japonaise JICA, initiateur de cette démarche de formation à Madagascar et à l'origine de la formation d'AgriSud.

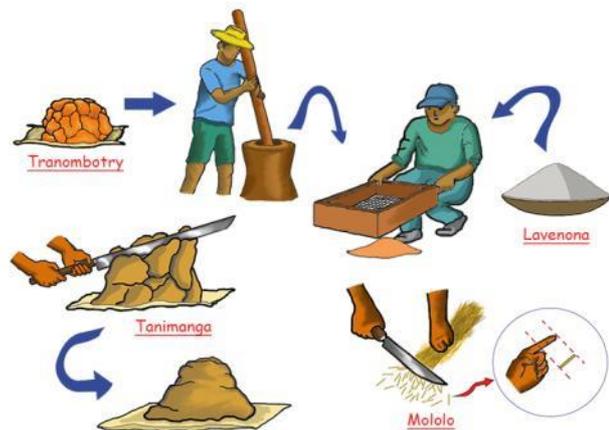
Les matières premières utilisées sont de l'argile hachée et diluée, de la paille de riz coupée en morceaux de 10 cm, des cendres de bois tamisées, de la termitière pillée et tamisée et de l'eau. Le mélange doit être foulé et frotté aux pieds pour obtenir une pâte. A l'aide d'une marmite, un mur doit être monté avec cette pâte et un trou creusé pour l'introduction du bois. Enfin, le foyer doit être lissé et séché durant 3 semaines avant sa première utilisation.

Jusqu'à maintenant, aucun test de performance n'a été réalisé sur ces foyers mais leur durée de vie est estimée à 2 ans.

Formation et suivi des bénéficiaires

La diffusion des techniques de fabrications des foyers améliorés JICA proposée par AgriSud s'effectue par formation en cascade. Les deux techniciens agricoles de l'organisation initialement formés ont à leur tour formé, dans le cadre de leurs autres activités, près de 110 *Maitres-Exploitants* de la région Itasy à la production des foyers améliorés. Enfin, ces *Maitres-Exploitants* étaient libres de produire et commercialiser les foyers qu'ils fabriquaient, ou former à leur tour d'autres exploitants également accompagnés sur les aspects agricoles dans le cadre du projet sur demande. Dans ce dernier cas, des modalités de contreparties sont établies entre les deux parties. Pour communiquer sur cette offre, AgriSud, par l'intermédiaire des *Maitres-Exploitants* réalisent des séances de démonstration dans les villages ciblés par le projet durant lesquelles les bénéficiaires des foyers et la méthode de fabrication sont présentées.

Les *Maîtres-Exploitants* étant autonomes sur cette activité, aucun suivi des bénéficiaires n'est officiellement réalisé. Les contreparties étant déterminées entre le *Maitre-Exploitant* et le bénéficiaire, aucun modèle économique fixe n'est déterminé.



³¹<http://www.agrisud.org/fr/pays-nosactions/madagascar/>

CNRIT

Présentation et historique

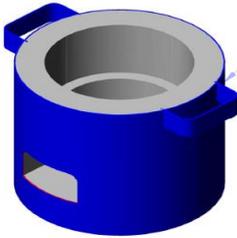
Le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) est déjà présenté en partie 3.2.2 de ce rapport. Ayant acquis une réelle expérience dans le domaine des foyers améliorés depuis près de 30 ans, le CNRIT :

- Accompagne les organisations qui souhaitent déployer un projet de production et/ou diffusion de foyers améliorés. Pour cela, le centre peut former les artisans à la production des foyers, accompagner l'organisation à la mise en place de la chaîne de production des foyers, réaliser de la recherche et développement sur le modèle de foyer proposé pour correspondre aux besoins de la population ciblée, etc. ;
- Forme des bénéficiaires à la fabrication de foyers améliorés brevetés par le CNRIT mais en adéquation avec les matériaux de construction disponibles dans les zones rurales enclavées ;
- Produit des foyers améliorés en argile avec carapace métallique (modèle breveté par un chercheur du CNRIT) en fonction des commandes dans l'atelier de production du CNRIT basé à Tsimbazaza (siège du CNRIT). En tant qu'EPIC, le CNRIT ne commercialise pas ses foyers améliorés sur le marché.

Foyers améliorés

Le CNRIT propose 3 modèles de foyers améliorés.

Foyer amélioré à carapace métallique



Ce foyer amélioré en argile avec carapace métallique est principalement diffusé par l'intermédiaire de projets menés par des organisations partenaires dans les grandes zones urbaines (modèle à charbon) ou en milieu rural (modèle à bois).

Le CNRIT dispose aussi d'un atelier de production à Antananarivo dont la capacité de production peut atteindre 60 foyers améliorés à bois-énergie par jour ainsi qu'un magasin de stockage de 5 000 foyers. La production n'est pas régulière et dépend des commandes.

Foyers améliorés à balle de riz



Des foyers améliorés à balle de riz³² diffusés par le biais du projet SEESO (Synergie Energie Environnement dans le Sud-Ouest) financé par l'UE en partenariat avec WWF sont principalement destinés aux zones à forte production de riz en milieu rural. Le CNRIT réalise des transferts de compétences. Ces foyers peuvent être fabriqués à partir de fût ou de tôle de récupération grâce à des outils archaïques (cisailles, burins, marteaux, etc.).

Foyers améliorés « Kopa Droa »



Le modèle « kopa-droa » bipied permet d'utiliser des combustibles de substitution comme le charbon à base de savane. Ce modèle est breveté par le CNRIT et diffusé par le biais de projets d'associations environnementales comme l'ANAE. Les techniciens des projets sont formés à leur fabrication. La construction de ces foyers nécessite l'utilisation d'argile et d'outils archaïques.

Perspectives

Actuellement, le CNRIT effectue des recherches sur l'amélioration du rendement des foyers améliorés en travaillant notamment sur les matériaux adéquats pour l'isolation.

Par ailleurs, les équipes travaillent sur les foyers à éthanol et notamment sur les matériaux adéquats pour l'isolation de ces derniers. Un prototype a été réalisé et est actuellement testé en milieu réel.

³²<https://www.youtube.com/watch?v=05EPvFNN2ts>

5.3 Gouvernance, réglementation

A ce jour, aucune réglementation particulière à la production et diffusion des foyers améliorés officielle n'existe à Madagascar. Ces activités sont considérées comme des activités « artisanales et commerciales » qui sont régies par le code de l'artisanat, Loi n°2015-054³³ qui définit le statut d'artisan, l'apprentissage, les avantages et la protection sociale, les structures organisationnelles possibles, les règles d'approvisionnement, les normes, les certifications et la protection des produits, la fiscalité, la commercialisation et le financement.

En revanche, le travail initié en 2015 pour l'élaboration de la Stratégie Nationale Bois-Energie (SNABE) mené par le Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures avec l'appui du cabinet AIDES (Appui aux Investissements Durables) prévoit un renforcement sur la filière bois-énergie en général (mise en place d'un environnement juridique et institutionnel approprié, formation aux techniques améliorées de production de charbon, reboisement, sécurisation foncière, etc.) mais également un cadrage des activités de production et de commercialisation des foyers améliorés au niveau national (normalisation des produits, autorisation de mise sur le marché, mise en place de systèmes de subventions, prêts ou financements en partenariat avec des IMF, accompagnement des actions de sensibilisation, etc.). Dans ce cadre, des réunions sont organisées avec les acteurs de cette filière afin de mettre en place une réglementation permettant une certification des foyers (certificat de qualité) et favoriser leur commercialisation dans le pays.

Au niveau régional, les directions régionales concernées (des Ministères des Forêts, de l'Energie, de l'Eau, de l'écologie, de l'environnement, etc.) de certaines régions de l'île travaillent ensemble à la réalisation de stratégies ou plans régionaux sur le bois-énergie ou les énergies alternatives afin d'encadrer les actions menées et d'assurer leur cohérence.

5.4 Les impacts de la technologie foyers améliorés

5.4.1 Introduction et contexte

Les foyers améliorés connaissent un essor à Madagascar depuis quelques années mais ne sont toujours pas suffisamment utilisés pour avoir un impact conséquent sur l'économie locale, la population ou l'environnement. Pourtant, les foyers améliorés permettent de réduire considérablement l'utilisation du bois-énergie sans radicalement changer les habitudes culturelles des populations.

5.4.2 Impact économiques

Impacts macro-économiques

La NPE proposée par le gouvernement en 2015 souhaite que plus de 70 % de la population utilise un foyer amélioré pour la cuisson de ses trois repas d'ici 2019 contre moins de 5 % actuellement. Cette diffusion à large échelle permettrait un développement économique par le renforcement de compétences et la création d'emplois (directs - artisans producteurs des foyers et revendeurs, et indirects – transporteurs, revendeurs d'argile ou de tôles métalliques, etc.). De plus, les dépenses environnementales (frais de réhabilitation du territoire à cause de la déforestation ou émissions de GES) et sanitaires (réduction des maladies respiratoires et oculaires, brûlures, etc.) seraient réduites au niveau national.

En revanche, ces multiples bénéfices (environnementaux, sociaux et économiques), seront réellement tangibles et durables si la filière est organisée et contrôlée (emplois formels, filières bois-énergie maîtrisée, etc.)

Impacts économiques au niveau des ménages

Les montants présentés ici sont calculés en Annexe 9.2.2 pour un ménage moyen à partir d'hypothèses formulées en Annexe 8.7.1.

Les bénéfices économiques au niveau des ménages sont générés via :

- La réduction des dépenses liées à l'achat de combustible (bois ou charbon) permettrait au ménage rural moyen, d'économiser un peu plus de **13 000 Ar** par an. (Un ménage qui ne consommerait que du charbon qu'il achète économiserait prêt de 100 000 Ar) ;
- La valorisation en Activités Génératrices de Revenus (AGR) du temps non passé
 - À la collecte du bois permettrait au ménage de gagner jusqu'à **30 000 Ar** par an ;

³³<http://www.assemblee-nationale.mg/?loi=loi-n2015-054-portant-code-lartisanat>

- À la cuisson permettrait au ménage de gagner jusqu'à **136 000 Ar** par an ;
- En arrêt maladie (à cause des fumées dégagées par les foyers traditionnels) permettrait au ménage de gagner jusqu'à **18 000 Ar** par an.

L'utilisation d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel pour un ménage rural malgache moyen lui permettrait de réduire ses dépenses et d'augmenter ses revenus à hauteur de **185 000 Ar par an** soit près de **15 000 Ar par mois**.

En d'autres termes, l'achat d'un foyer amélioré qui coûterait 15 000 Ar serait amorti en un mois.

5.4.3 Impacts environnementaux

Le détail des calculs de cette partie sont détaillés en Annexe 9.2.3.

Réduction des émissions de GES

On estime que l'utilisation d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel permettrait de réduire la consommation de bois de 35 % et de charbon de 20 %.

A partir des hypothèses formulées en Annexe 8.7.1, on peut en déduire que l'utilisation d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel permettrait une réduction 1,2 tCO₂e par an et par ménage rural moyen.

En revanche, pour un ménage qui n'utiliserait que du bois, l'utilisation d'un foyer amélioré à bois lui permettrait de réduire ses émissions de GES de 0,69 tCO₂e par an. Pour un ménage qui n'utiliserait que du charbon, l'utilisation d'un foyer amélioré à charbon lui permettrait alors de réduire ses émissions de GES de près de 1,5 tCO₂e par an.

Selon un rapport de l'United States Agency for International Development (USAID) de 2010 (51), les foyers améliorés, si la filière est correctement gérée et les foyers bien utilisés, auraient le meilleur taux de réduction de GES par unité de coût comparativement aux autres technologies alternatives comme le biogaz.

Réduction de la déforestation

L'utilisation d'un foyer amélioré permettrait à un ménage rural moyen de réduire sa consommation de bois sec de 0,69 t par an. En considérant que la densité des forêts humides avoisine les 20 kg de bois vert par m² et celle des forêts épineuses les 5 kg/m², on peut alors en déduire que la réduction de la consommation de bois due à l'utilisation d'un foyer amélioré permettrait de réduire la déforestation de 69 m² de forêt humide ou 275 m² de forêt épineuse par an et par ménage.

Dans le cas où 70 % des ménages utilisent un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel (objectif de la NPE pour 2030), la forêt humide pourrait être préservée à hauteur de 18 000 ha ou la forêt épineuse à hauteur de 75 000 ha par an.

Inversement, il faudrait doter entre 160 et 640 ménages d'un foyer amélioré pour préserver un hectare de forêt épineuse ou humide.

Dans le cas d'un ménage qui ne consommerait que du bois, 40 m² de forêt humide ou 150 m² de forêt épineuse pourrait être préservée par ménage qui utiliserait un foyer amélioré à bois plutôt que le foyer Toko telo chaque année.

Dans le cas d'un ménage qui ne consommerait que du charbon, 85 m² de forêt humide ou 340 m² de forêt épineuse pourrait être préservée par ménage qui utiliserait un foyer amélioré à charbon plutôt que le foyer Fatapera chaque année.

5.4.4 Impacts sociaux

Impacts sur la santé

Les foyers améliorés permettent une meilleure combustion du bois qui réduit les émissions de fumées toxiques et donc permet de diminuer la pollution de l'air intérieur. Selon l'OMS(58), l'utilisation d'un foyer amélioré réduirait de 35 % le risque de maladies dues à la pollution de l'air intérieur telles que les infections aiguës des voies respiratoires, les bronchites chroniques, les cancers des poumons ou problèmes oculaires qui touchent principalement les femmes et les enfants. Par ailleurs, l'utilisation d'un foyer fermé réduit les risques de brûlure par le fait que le feu n'est pas directement accessible et le bois manipulé à distance des flammes.

Impacts sur le mode de vie des femmes

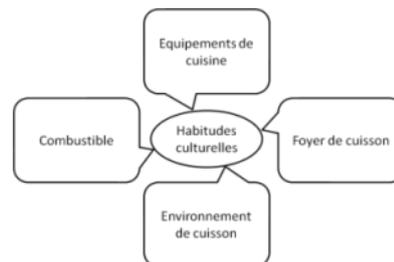
L'utilisation d'un foyer amélioré permet également aux femmes (souvent responsables de la collecte du bois et de la cuisson) de libérer du temps (12 % à 14 % selon l'OMS) pour des AGR ou pour l'éducation des enfants. Les foyers améliorés améliorent également les conditions de cuisson

car ils permettent par exemple d'avoir une meilleure visibilité et un air plus respirable. Ils demandent une surveillance moins difficile que celle exigée par les foyers traditionnels.

Autres impacts

La réduction de la déforestation rend l'environnement des familles plus durable (fertilité des sols, réduction de l'érosion, etc.).

L'utilisation des foyers améliorés, en comparaison à des énergies alternatives nouvelles, permet aux ménages de garder leurs habitudes culturelles au regard du mode de cuisson. Ils utiliseront les mêmes combustibles, mêmes ustensiles et ne seront pas obligés de modifier leur environnement intérieur.



Impacts non souhaités

En revanche, l'utilisation d'un foyer amélioré :

- Réduit les pertes de chaleur qui sont parfois utilisées pour chauffer l'intérieur ;
- Réduit l'émission lumineuse car les flammes sont presque entièrement isolées dans la chambre de combustion.

5.5 Facteurs clés de succès du développement de la filière foyers améliorés à Madagascar

Pour mettre en place un projet de production et de diffusion de foyers améliorés, deux approches sont possibles. Les projets peuvent :

- Renforcer les capacités d'un opérateur existant (producteur et distributeur) ;
- Créer une nouvelle chaîne de valeur par la mise en place d'ateliers de production (formation d'artisans et appui à la production) et un nouveau réseau de distribution (transport et commercialisation).

Dans les deux cas, 5 facteurs clés doivent être analysés en amont afin de s'assurer de la faisabilité du projet, de la bonne appropriation de la technologie par les ménages ciblés ainsi que des opportunités de développement de la filière. Ces facteurs sont techniques, économiques, sociaux, environnementaux et institutionnels et politique.

Cette partie présente les facteurs clés à évaluer et résume la situation de Madagascar pour chacun d'entre eux. (51)(59)(60)(61)(62)

5.5.1 Facteurs techniques

Disponibilité des matériaux et matériels nécessaires à la production des foyers

Avant d'initier un projet de diffusion de foyers améliorés, les parties prenantes doivent s'assurer que les matières premières soient disponibles et abordables dans la zone d'intervention ciblée ou qu'il soit simple et peu coûteux de les approvisionner jusqu'au site de production. Selon les modèles de foyers, il peut s'agir d'argile, de terre, de sable, de paille, de chamotte, de ciment, de tôle métallique, etc. De plus, il faudra vérifier la disponibilité des outils ou matériels nécessaires pour que le producteur ait une capacité de production suffisante pour répondre à la demande du marché identifié et atteindre le seuil de rentabilité.

Les chambres de combustion des foyers améliorés proposés à Madagascar sont en très grande majorité fabriquées à partir d'argile, matière première présente en grande quantité à Madagascar (surnommé l'Île Rouge à cause de la quantité importante de latérite dans ses sols). Attention, l'argile être plus rare dans certaines zones du pays. Les solutions de livraison devront alors être évaluées. Bien que les tôles ne soient pas produites à Madagascar, ces dernières sont disponibles dans les quincailleries dans toutes les zones du pays. Elles peuvent être onéreuses et cela pourra être un réel frein financier au développement des activités d'un atelier de production (problème de fonds de roulement).



Bien que les outils manuels de production soient disponibles (ou peuvent être fabriqués) localement (moules, tours manuel, ustensiles de découpe de l'argile, etc.), les machines mécanisées qui permettent d'avoir une meilleure capacité de production et qualité des foyers améliorés devront être importées. Ainsi, dans le cas de la mise en place d'un atelier de production à forte production, le projet devra prévoir un budget conséquent s'il souhaite mettre en place des machines de production à l'échelle industrielle (telles que des presses hydraulique, broyeurs ou malaxeurs mécanisés, etc.).

Caractéristiques techniques des foyers améliorés

Les foyers améliorés doivent avoir une durée de vie importante (plus élevée que celle des foyers améliorés artisanaux déjà présents sur les marchés) et permettre une réelle réduction de la consommation de bois-énergie. Il est essentiel qu'ils soient adaptés aux habitudes culinaires des ménages (cf. facteurs sociaux ci-dessous). Par exemple, leur design doit convenir à l'utilisation du ou des combustibles traditionnels les plus utilisés ou de combustibles alternatifs présents en grande quantité dans la zone d'intervention. Avant d'être plus largement diffusés, les modèles de foyers améliorés doivent être testés.

- En laboratoire, l'utilisation du Test D'Ébullition de l'Eau (TEE décrit en Annexe 9.3.1) doit démontrer :
 - Une efficacité thermique en phase de haute puissance supérieure ou égale à 20 % ;
 - Une consommation spécifique de combustible en phase de basse puissance inférieure relativement basse ;
 - Un temps d'ébullition inférieur à 20 minutes.
- Auprès de la population ciblée :
 - L'économie de combustibles doit être démontrée et supérieure ou égale à 20 % en condition réelle via l'utilisation du Test de Cuisine Contrôlée (TCC) ou du Test de Performance à la Cuisine (KPT) également décrits en Annexe 9.3.2 et 9.3.3.
 - L'appropriation doit être évaluée par des enquêtes de satisfaction auprès des ménages qui utilisent le modèle depuis plusieurs mois voire années afin d'estimer la pertinence du modèle par rapport aux besoins.
 - La durée de vie doit être estimée par l'intermédiaire de ces enquêtes.

Pour que les foyers répondent aux exigences techniques mentionnées ci-dessus :

- Les matières premières utilisées (comme l'argile) doivent être de bonnes qualités ;
- Les techniques de production doivent être maîtrisées et régulièrement évaluées à partir des tests présentés en Annexe 9.3 puis améliorées en fonction des résultats.

Le processus de production doit être relativement simple pour faciliter le transfert de compétences et le développement de nouveaux ateliers. Dans le cas de la mise en place d'une usine semi-industrielle (production de qualité supérieure mais système de production plus complexe), une formation et un transfert de compétences approfondis devront être réalisés. Dans le cas où aucun foyer présent sur le marché ne répond à ces critères, les projets pourront envisager de concevoir un nouveau modèle qu'ils devront tester sur le marché.

A Madagascar, plusieurs initiatives existent et proposent des foyers améliorés robustes adaptés à la demande. (cf. présentation des expériences en Annexe 9.1) qui répondent aux exigences techniques énoncées ci-dessus. En revanche, leurs moyens techniques, financiers et humains sont insuffisants pour répondre à la demande et atteindre l'objectif de 70 % d'utilisateurs d'ici 2030 (NPE). En conclusion, les nouveaux projets sont encouragés à renforcer la capacité des artisans ou usines semi-industrielles existants qui produisent déjà et monter de nouveaux ateliers en partenariat avec les opérateurs actuels (même modèle de foyers améliorés).

Infrastructures

Comme déjà évoqué pour le déploiement de la technologie biogaz en Partie 3.5.1, le déploiement d'une filière de diffusion de foyers améliorés en milieu rural nécessite d'avoir un accès facile à la population ciblée. Les foyers améliorés doivent pouvoir être livrés dans les communes ciblées et les points de vente régulièrement approvisionnés selon les commandes. Pour cela, les infrastructures et particulièrement les routes doivent être praticables toutes l'année. Dans les zones très enclavées, il pourrait être envisagé de former des artisans locaux à la fabrication de foyers comme le foyer KAMADO proposé par la JICA.

A Madagascar, les infrastructures des milieux ruraux sont désastreuses. De très nombreux villages ruraux sont enclavés et inaccessibles en saison des pluies (et parfois même toute l'année). Ainsi, pour que les impacts de l'utilisation des foyers améliorés soient maximums et durables, le contexte local doit permettre leur diffusion à large échelle et surtout leur appropriation par les bénéficiaires sur le long terme.

5.5.2 Facteurs économiques et de marché

Facteurs macro-économiques

Besoins et demande

Comme pour toute activité économique, une étude de marché doit être réalisée afin de déterminer les besoins et la demande de la population ciblée par les projets. Les besoins seront évalués à partir des impacts (économiques, sociaux et environnementaux) néfastes mesurés et ressentis par les ménages à cause de l'utilisation du bois-énergie (ou autres combustibles) en foyers traditionnels. La demande sera évaluée à partir d'enquêtes de la population (habitudes culinaires actuelles, connaissance de la technologie, avis sur son utilisation, exigences techniques attendues, prix acceptables, etc.) et des acteurs de la filière (opérateurs déjà existants, institutions concernées, etc.) qui ont une connaissance du marché. Cette étude permettra alors au projet d'établir une stratégie de diffusion pertinente (modèle de foyer amélioré, coût de production et prix de vente – rapport qualité / prix, zones de diffusion, arguments de vente, etc.).

A Madagascar, plusieurs études de marché ont été réalisées par plusieurs acteurs. Ces dernières révèlent que la technologie *foyer amélioré* est de plus en plus connue par la population, mais que son utilisation est encore très réduite (moins de 5 % de la population) principalement du fait d'une méconnaissance et incompréhension des bénéfices réels induits par son utilisation et d'un frein financier (prix trop élevé pour une majorité de la population).

Solutions de financement

Des solutions de financement innovantes et durables doivent être disponibles ou mises en place afin d'assurer la durabilité de la filière à la suite de la clôture du projet. Au niveau macro-économique, le gouvernement doit mettre en place des réglementations favorables au développement de la technologie. Au niveau micro-économique, les entrepreneurs qui initient leurs activités doivent avoir accès à des investisseurs, des solutions de crédit, etc. afin d'établir leur affaire.

Dans le cas des foyers améliorés, il serait également intéressant qu'un mécanisme de crédits carbone soit mis en place au niveau du pays. Attention tout de même à l'instabilité du marché carbone (pas de garantie, marché irrégulier, etc.) qui ne doit pas être considéré pour la création de l'activité, mais plutôt comme une opportunité de renforcer les activités de sensibilisation et communication ou d'augmentation des fonds de roulement utile à la production.

A Madagascar, les investissements restent majoritairement des subventions provenant de bailleurs de fonds internationaux et les petits entrepreneurs n'ont que très rarement accès à des solutions de microfinance pour le lancement de leurs activités. Bien que le gouvernement travaille à la réglementation de la filière, jusqu'à maintenant, aucun mécanisme financier ne facilite la production ou la commercialisation des foyers améliorés.

Facteurs économiques au niveau des ménages

Pour que la diffusion des foyers améliorés s'effectue à grande échelle, il faudra s'assurer que les ménages soient convaincus des bénéfices de son utilisation au niveau social et environnemental mais également au niveau économique. En effet, plus les ménages de la zone ciblée ont des dépenses élevées en combustible pour la cuisson ou des temps de collecte en bois très longs, plus ils seront prêts à investir dans l'achat d'un foyer amélioré qui leur permettra une vraie réduction de leurs dépenses et donc un temps de retour sur investissement plus faible.

Par ailleurs, bien que l'achat et l'utilisation d'un foyer amélioré, soit un des moyens les moins onéreux sur le long terme de cuisiner (en dehors des pratiques traditionnelles), les ménages ne bénéficient pas toujours des moyens financiers et de la trésorerie pour acheter un foyer amélioré. Ainsi, des solutions de microfinance ou d'épargne communautaire doivent être disponibles à proximité des zones de diffusion pour proposer des facilités de paiement adaptées aux moyens des ménages.

A Madagascar, le pouvoir d'achat des ménages est très faible et l'éducation financière très limitée. Il n'existe que très peu de solutions de prêts ou d'épargnes, surtout en milieu rural.

5.5.3 Facteurs sociaux

Les facteurs sociaux sont essentiels à la réussite d'un projet de diffusion (production et commercialisation) de foyers améliorés dans une zone d'intervention. Les modèles proposés doivent répondre aux besoins des ménages sur le plan socioculturel et les bénéfices de leur utilisation doivent être bien compris par ces derniers.

Appropriation du foyer amélioré (besoins et demande)

Pour que les ménages s'approprient les foyers améliorés, il faut que ces derniers aient un réel besoin au regard des bénéfices induits par leur utilisation. Par exemple, la fumée générée par l'utilisation des foyers traditionnels (qui est fortement réduite par l'utilisation de la chambre à combustion) doit être un réel problème pour les familles ciblées (gène forte, maladies respiratoires fréquentes, etc.). L'utilisation de bois-énergie avec les foyers traditionnels doit être contraignante et les ménages doivent avoir des dépenses conséquentes pour s'approvisionner ou passer beaucoup de temps à la collecte du bois pour intégrer le bénéfice de réduction de consommation. Enfin, il est important de connaître les projets de foyers améliorés déjà menés dans la zone d'intervention et de mesurer la satisfaction des anciens bénéficiaires et l'image de ces derniers auprès des potentiels bénéficiaires. Cela permettra d'évaluer la réticence ou la motivation des ménages à l'obtention des foyers améliorés et donc de mesurer leur appétence (marché potentiel). A Madagascar, le besoin est réel. Bien que certains projets (non mentionnés ici) n'aient pas réussi à créer une dynamique de diffusion durable ou que certains modèles de foyers améliorés artisanaux produits localement ne soient pas suffisamment durables et robustes, l'image du foyer amélioré reste bonne auprès des ménages qui connaissent la technologie (comme l'ont démontré des enquêtes menées dans la région Analamanga par LLD ou dans la région DIANA par l'Association Etc Terra).

Niveau d'éducation

Pour que cette appropriation soit maximale, le niveau d'éducation des ménages sensibilisés doit être suffisant. En effet, l'appropriation passe par la compréhension des bénéfices (souvent sur le long terme) retirés de l'utilisation du foyer amélioré au lieu du foyer traditionnel qu'il s'agisse des aspects économiques (réduction des dépenses ou du temps passé à la collecte valorisable en AGR), sociaux (réduction des maladies respiratoires, amélioration des conditions de cuisson, etc.) ou environnementaux (réduction de la déforestation et des émissions de GES). Pour ce faire, les ménages doivent être en mesure d'estimer ces gains et donc d'avoir reçu une *éducation* particulièrement sur les aspects économiques (avoir une vision à plus long terme) et environnementaux qui sont moins tangibles que les impacts sociaux. Par ailleurs, les ménages doivent être prêts à changer leurs habitudes et donc rompre avec les pratiques *ancestrales*, ce qui peut être difficile en milieu rural où celles-ci sont bien ancrées.

A Madagascar, le niveau d'éducation, surtout en milieu rural, est faible. Bien que de nombreux événements de sensibilisation et formation sur l'utilisation des foyers améliorés soient organisés en zones urbaines et rurales (principalement par des ONGs ou opérateurs), ils ne peuvent substituer à une éducation plus complète sur la gestion économique ou les impacts environnementaux positifs engendrés par l'utilisation d'un foyer amélioré.

Design du foyer amélioré adapté

Au-delà de l'efficacité et de la durabilité des modèles de foyer amélioré proposés, leur design doit intégrer un aspect social fort. Leur conception doit être faite pour qu'ils soient adaptés aux habitudes culturelles et pour que l'appropriation des ménages soit la plus simple possible. Par exemple, ils doivent être adaptés aux combustibles les plus couramment utilisés (bois ou charbon en général) ainsi qu'aux ustensiles traditionnellement utilisés dans la zone d'intervention. Le design et l'utilisation du foyer amélioré doivent être les plus proches possible de ceux du foyer traditionnel pour faciliter la prise en main. Ils doivent être relativement légers pour faciliter leur manutention par les femmes. Enfin, ils doivent être esthétiques, tout en étant robustes pour maintenir une image positive auprès des clients.

A Madagascar, les modèles de foyers améliorés artisanaux disponibles sur les marchés sont adaptés aux habitudes culturelles mais leur robustesse et leur design font qu'ils n'ont pas bonne réputation auprès des ménages. En revanche, les foyers améliorés produits dans le cadre des projets (ADES, Tandavanala, GIZ, Planète Urgence et CIRAD), qui intègrent ces critères, sont bien

acceptés par la population ciblée qui a de plus en plus conscience des bénéfices (économiques et sociaux) générés par leur utilisation.

Implication des femmes

Le niveau d'implication des femmes dans les prises de décision des ménages ou la présence de groupements de femmes influents dans les zones de déploiement est un critère important. En effet, l'amélioration des conditions de vie grâce à l'utilisation d'un foyer amélioré réside en grande partie dans des tâches réalisées par les femmes (collecte du bois, cuisson, etc.). La présence de ces groupements dans un village révèle leur envie d'indépendance et d'autonomisation. Les intégrer dans un projet de diffusion de foyers améliorés pourrait permettre une meilleure communication sur les bénéfices de ces cuisers et donc une plus grande appropriation.

5.5.4 Facteurs environnementaux

Comme évoqué à plusieurs reprises, la situation environnementale est critique à Madagascar. Nous avons montré en Partie 4.3, que le bois-énergie restera l'énergie prépondérante pour la cuisson des ménages ruraux des pays en développement et que ce combustible peut être durable si la filière est maîtrisée. Par ailleurs, comme présenté en Partie 1.4.2 et 1.4.4, les énergies alternatives sont encore trop onéreuses ou ne sont pas toujours appropriées aux besoins des ménages. Ainsi, le foyer amélioré reste l'une des meilleures alternatives à court et moyen termes pour répondre aux enjeux climatiques.

5.5.5 Facteurs institutionnels

Stabilité et implication politiques

Comme pour le déploiement de la technologie biogaz, la stabilité politique est un facteur clé de succès pour obtenir l'implication et le soutien sur long terme des institutions publiques qui ont un rôle majeur à jouer dans le développement de la filière foyers améliorés, notamment via la réglementation (exonération de taxe, certification, etc.) mais aussi l'amélioration des infrastructures (routes), l'éducation aux impacts positifs ainsi qu'à la gestion financière à moyen et long termes, l'engagement dans la finance carbone ou l'accompagnement du développement des investissements privés (mise en place de nouveaux ateliers de production, augmentation de capacité, etc.). Le sujet impacte de nombreux ministères (énergie, environnement, forêt, santé, industrie, commerce, etc.) qui doivent tous être impliqués dans l'accompagnement et le renforcement de cette filière. Ils pourraient par exemple travailler à :

- La construction d'une Stratégie Nationale de diffusion des foyers améliorés pour assurer la cohérence des projets menés sur le territoire ou réaliser des activités de recherches et développement pour assurer la pertinence des modèles proposés sur le marché (enquêtes terrain, R&D technique, etc.) ;
- La mise en place de mécanismes de régulation adaptés et favorables à leur commercialisation et permettant de réaliser des activités de lobbying pour attirer les investisseurs privés ;
- La formation et la sensibilisation de la population via le renforcement par exemple de l'éducation environnementale à l'école, l'organisation d'évènements publics sur les impacts environnementaux et sanitaires de l'utilisation du bois-énergie, des projets de mesures d'impacts de l'utilisation des foyers améliorés, la communication de statistiques pertinentes, etc.

Il est crucial d'impliquer les institutions publiques locales des zones d'intervention qui peuvent accompagner la mise en place de la filière via de la communication locale, de la mise en réseau d'acteurs, etc. pour faciliter la diffusion des foyers améliorés.

Madagascar a connu plusieurs crises politiques ces dernières années qui ont grandement impactées le développement du pays ainsi que le retrait d'une grande majorité des organismes d'aides internationales. Ainsi, les projets devront s'assurer de monter des filières les plus indépendantes possibles des organismes internationaux et être très vigilant quant à leur dépendance en l'Etat pour le long terme. Les foyers étant des produits de première nécessité et n'étant pas périssables, ils peuvent être stockés et diffusés même en cas de crise politique importante.

Politique environnementale et énergétique

Les politiques énergétique et environnementale doivent être particulièrement étudiées par les projets afin de connaître l'avancement et les impacts positifs ou négatifs des réglementations en vigueur dans le pays ou la zone concernée. Si des activités dans les ministères concernés sont en cours (établissement de politiques, rédaction de lois, etc.), il serait très intéressant d'être impliqué dans le processus afin de les appuyer et de souligner les enjeux majeurs de la filière pour qu'ils soient correctement pris en compte et intégrés.

A Madagascar, la Nouvelle Politique Énergétique (NPE 2015 – 2019) encourage par exemple vivement la diffusion des foyers améliorés (70 % de la population devra cuisiner avec un système amélioré d'ici 2030). D'autres documents stratégiques sont en cours d'élaboration comme une Stratégie Nationale de gestion du Bois Energie (SNABE) ou une loi sur les bioénergies (qui intègre l'utilisation du bois et du charbon de bois).

5.6 Analyse de la filière foyers améliorés à Madagascar

Dans le cadre de cette étude, la rencontre des différents opérateurs foyers améliorés à Madagascar a permis de mettre en évidence les forces et faiblesses de la filière foyers améliorés existante à Madagascar. L'adaptation au contexte des technologies proposées, l'aptitude des opérateurs au déploiement, les modes de financement et modèles économiques des opérateurs et la structuration de la filière sont évoqués ici. Cette partie propose l'analyse des atouts et lacunes des opérateurs (opérateurs et organismes d'appui aux producteurs) identifiés et présentés en Annexe 9.1.1 et 9.1.3. Les autres solutions de distribution n'ont pas vocation à durer et sont des solutions ponctuelles qui visent à proposer des foyers à prix « cassés » pour de la sensibilisation ou former les bénéficiaires en zone très enclavées à la fabrication de foyers par eux-mêmes. Elles ne sont pas considérées ici.

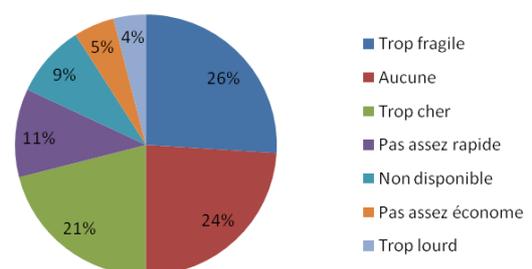
5.6.1 Besoin et demande

A Madagascar, le besoin en solutions alternatives à l'utilisation du bois-énergie en foyer traditionnel est réel. Une grande majorité de la population cuisine encore au bois-énergie à l'aide des foyers traditionnels à bois (Toko Telo) ou à charbon (Fatapera) ce qui implique des effets néfastes sur l'environnement (déforestation massive, émission de GES, etc.), sur la population (maladies chroniques, décès prématurés, etc.) et l'économie (filières informelles non structurées, dépenses ou temps de collecte non valorisés en AGR importants pour les ménages, etc.).

En revanche, la demande n'est pas encore suffisante pour atteindre les objectifs fixés par la NPE. Selon les acteurs interrogés, les foyers améliorés seraient connus par près de 80 % de la population en milieu urbain et près de 60 % en milieu rural grâce aux diverses actions de sensibilisation menées par des projets depuis de nombreuses années. Pourtant, moins de 5 % de la population utiliserait un foyer amélioré. Selon une étude menée par l'association LLD - Leadership for Local Development en collaboration avec le CNRIT en 2016(62) dans les régions Analamanga et Itasy, les raisons de cette *non-utilisation* seraient principalement liées aux caractéristiques techniques (pour 46 % des interrogés – trop fragile, pas assez rapide, pas assez économe ou trop lourd), dans une moindre mesure au prix (pour 21 %) et rarement à leur disponibilité (9 %). Les 24 % restants, qui déclarent n'avoir aucune raison de ne pas utiliser de foyers améliorés, sont considérés par cette étude comme des clients potentiels convaincus des bénéfices de l'utilisation d'un foyer amélioré et en mesure d'en acheter un. En conséquence, pour convaincre les 76 % restants, les projets devront :

- Approfondir l'étude de marché pour bien connaître, entre autres, les exigences techniques des ménages ainsi que leurs moyens financiers (et disposition à payer) pour l'achat d'un foyer amélioré ;
- S'assurer d'avoir un rapport qualité / prix adapté (la qualité des foyers proposés doit répondre aux exigences techniques de la population cible - facteurs techniques) et en cohérence avec l'étude de marché (prix acceptable par les ménages) ;

Raisons de non utilisation d'un FA



- Intensifier la sensibilisation des ménages ciblés à la robustesse et l'efficacité des foyers proposés (rapidité et économie) ainsi que l'éducation environnementale.

5.6.2 Adaptation de la technologie foyer amélioré

Modèles de foyers améliorés

Performance des modèles de foyers améliorés disponibles

Les modèles de foyers améliorés proposés à Madagascar sont nombreux et n'ont pas tous la même efficacité thermique et durabilité. Ainsi, bien que les foyers artisanaux non traditionnels semblent fournir des économies de bois et de charbon relativement significatives par rapport au foyer traditionnel (entre 15 % et 25 % selon une étude menée par LLD (62)), leur durée de vie n'est pas suffisante et souvent inférieure à un an. Pour les modèles de foyers améliorés à bois produits dans le cadre d'initiatives comme ADES, Tandavanala, Planète Urgence et le CIRAD ou la GIZ, des tests de performance (TEE décrit en Annexe 9.3) réalisés par Etc Terra ont permis de mettre en évidence des efficacités thermiques comprises entre 27 % et 35 %, une réduction du temps d'ébullition de près de 38 % passant de 40 minutes avec un foyer traditionnel à 25 minutes en moyenne. Selon les opérateurs, leur utilisation réduirait jusqu'à 60 % d'utilisation de bois. Les foyers améliorés à charbon permettraient une économie de charbon allant jusqu'à 35 %. Ainsi, ces foyers sont des foyers « économes » et non « à haute performance énergétique » (rendement supérieur à 50 %, mais plus onéreux), meilleur rapport qualité / prix adapté aux besoins des ménages. Les efforts de design menés par les initiatives permettent d'avoir des modèles robustes, adaptés aux habitudes culturelles et esthétiques.

Appropriation par les ménages

En dehors d'ADES qui commercialise le même modèle de foyers performants depuis plusieurs années et connaît un taux de pénétration relativement bon au niveau national, il est difficile d'évaluer le niveau d'appropriation des autres modèles qui sont majoritairement commercialisés localement et depuis peu.

Même si la technologie des foyers améliorés semble bien connue des ménages (selon les acteurs interrogés) et que les modèles récemment conçus semblent répondre aux besoins de la population cible (facteurs techniques, socio-économiques, etc.), il existe encore des freins à son utilisation qui sont principalement dus à :

- La méconnaissance ou incompréhension des bénéfices induits par leur utilisation ;
- Une mauvaise image de la technologie à cause de l'utilisation de foyers améliorés de qualité médiocre (foyers artisanaux appelés « améliorés ») ;
- Le prix d'achat qui reste souvent élevé pour les ménages moyens.

Production des foyers améliorés

Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans la fabrication des foyers améliorés sont disponibles dans la plus grande partie du pays. L'argile, principal composant de la chambre à combustion peut être achetée auprès de revendeur ou directement collectée par l'initiative via la location de terrain pour des coûts généralement attractifs. Concernant la tôle métallique, bien qu'elle soit disponible partout, son coût reste relativement élevé et peut être un réel frein à la production des foyers. C'est le cas par exemple de l'initiative Tandavanala qui rencontre régulièrement des problèmes de trésorerie liés à l'achat de ces tôles et se voit contrainte de stopper momentanément leur production. Les matériaux annexes comme la chamotte (poudre d'argile cuite obtenue par broyage des rebuts de chambres à combustion cassées lors de la cuisson) mélangée à l'argile brute pour une meilleure qualité et durabilité de la chambre à combustion, la cendre (de bois, de briquettes ou de balles de riz, récupérée après la cuisson des foyers pour faciliter le démoulage, etc.) sont majoritairement récupérés sur les sites de production. Certains modèles de foyers, comme celui de la GIZ, utilisent également du ciment pour la finition qui est disponible sur les marchés locaux. La peinture est utilisée pour améliorer le design et apposer le logo (marketing).

Technicité de production

D'une manière générale, la production de foyers améliorés portatifs à bois ou à charbon est d'une technicité moyenne voire basse dans le cas de fabrication entièrement artisanale. Les outils nécessaires à leur production peuvent être artisanaux et de fabrication locale (tours manuels,

moules, couteaux, etc.) et simples de prise en main par la main d'œuvre locale (à condition d'être initialement bien formés). Lorsque la production est automatisée ou semi-industrielle, le malaxeur, le broyeur ou la boudineuse sont des machines relativement simples d'utilisation mais qui nécessitent une très bonne formation de base ainsi qu'une vigilance soutenue au regard son entretien et maintenance. Un contrôle qualité régulier devra être mené tout au long de la chaîne de production.

Les artisans formés par la GIZ ou LLD bénéficient de petites machines de production pour optimiser leur capacité de production et la qualité des foyers produits. L'atelier de Tandavanala dispose de machines de taille moyenne (malaxeur, boudineuse) mais réalise sa cuisson à l'aide d'un four artisanal extérieur en briques reconstruit pour chaque cuisson. ADES travaille avec du matériel plus sophistiqué dont les capacités sont plus importantes (malaxeur, boudineuse, presses hydrauliques, etc.) et réalise la cuisson des foyers dans un four fixe à briques réfractaires très performant, ce qui lui permet d'avoir des foyers de qualité et un taux de casse à la cuisson fortement réduit.

5.6.3 Aptitudes des opérateurs

Conception et design des foyers

Le design des foyers proposés par les acteurs présentés sont divers et ont été élaborés dans des contextes variés. Les foyers proposés dans le cadre des projets menés par Tandavanala (à bois et à charbon) et Planète Urgence et le CIRAD (uniquement à charbon), ont été conçus en partenariat avec le CNRIT qui a débuté il y a plus 30 ans dans le domaine à Madagascar. Concernant la GIZ, l'organisation a développé des modèles de foyers améliorés (à charbon et mixte à charbon et à bois) à partir des modèles déjà produits par les artisans formés dans la zone d'intervention et grâce aux connaissances des techniciens internes à la structure. Enfin, ADES a conçu ses modèles foyers améliorés (à bois et charbon et de différentes tailles) avec l'aide d'un ingénieur spécialisé au lancement de cette activité en 2010.

Les artisans formés dans le cadre des projets de transferts de compétence menés par la GIZ, Planète Urgence et le CIRAD étaient, pour la plupart, déjà producteurs de foyers améliorés et ont donc appris de nouvelles techniques de production plus performantes. Dans le cas des projets ADES et Tandavanala, les personnes en charge du design initial des foyers ne sont plus internes à la structure. Tandavanala étant encore en phase de lancement n'a pas apporté d'amélioration à ses modèles de foyer. ADES, a déjà apporté des améliorations dans son processus de production qui a essentiellement permis d'améliorer la qualité de l'argile qui compose la chambre de combustion.

Capacités de production

Les capacités de production varient en fonction des choix stratégiques de diffusion de chacun. ADES a fait le choix d'investir dans des machines de production performantes et d'un four de cuisson des inserts à grand rendement. L'association produit ses foyers améliorés dans un unique grand atelier qui seront commercialisés dans l'ensemble du pays. Tandavanala dispose de machines un peu moins performantes mais qui lui permettent d'avoir une capacité de production moyenne (jusqu'alors principalement limitée par l'approvisionnement en tôle et le four de cuisson des foyers artisanal). Ils diffusent leurs foyers améliorés dans une zone précise mais relativement étendue. Enfin, les producteurs appuyés par les projets menés par la GIZ et Planète Urgence et le CIRAD ont des capacités de production relativement faible car la production n'est quasiment pas automatisée. Ils commercialisent leurs foyers dans une zone très restreinte. Ils sont donc plusieurs artisans à être appuyés pour couvrir les mêmes zones et répondre à la demande croissante en foyers en charbon des zones urbaines ciblées par les projets.

Communication, sensibilisation et formation des ménages

L'approche pour la communication et la sensibilisation des ménages en milieu urbain ou rural est différente. En effet, ADES, la GIZ et LLD, qui travaillent essentiellement sur la commercialisation de foyers améliorés à charbon en milieu urbain communiquent principalement par des campagnes d'affichage ou la mise en valeur des produits au niveau des points de vente. En milieu rural, comme Tandavanala le prévoit, la sensibilisation s'effectue principalement par l'organisation d'événements : campagnes de sensibilisation, ventes promotionnelles, séances de démonstrations culinaires, etc. La demande semble augmenter grâce à ces communications, mais compte tenu des objectifs à atteindre, les acteurs doivent maintenir leurs efforts.

En revanche, il semblerait que ces actions de sensibilisation n'intègrent pas suffisamment l'aspect formation des clients à l'utilisation efficiente de ces foyers améliorés. Ils sont nombreux à recevoir ou acheter des foyers améliorés lors de ces événements mais à ne pas savoir bien les utiliser. Sur le moyen terme, ils décident alors d'abandonner le foyer amélioré et retournent aux pratiques traditionnelles. Cela donne alors une mauvaise image du foyer amélioré et les impacts souhaités ne sont pas réalisés.

Mise en place de la filière

Grâce à son réseau de centres et revendeurs, ses ateliers de productions et sous-traitants, ADES est la seule organisation à avoir mis en place un réel réseau de distribution national et fonctionnel à ce jour. La GIZ a également créé un réseau à plus petite échelle aux alentours de Diego par le renforcement de trois ateliers de production, l'accompagnement de revendeurs et la mise en relation directe ou via des transporteurs. L'objectif de LLD est de mettre en place des petites filières locales mais durables, autonomes et viables sur le long terme. Tandavanala souhaite prochainement lancer la commercialisation de ses foyers. Elle diffusera ses foyers améliorés à charbon en zone urbaine (principalement à Fianarantsoa) et à bois en milieu rural du corridor forestier de la région Vakinankaratra (zone d'intervention de l'ONG).

Compétences et transfert de compétences

ADES et Tandavanala ont fait le choix de créer leur propre atelier de production et de gérer en interne l'ensemble de la chaîne de valeur. Ainsi, la plupart des ressources humaines sont formées et recrutées en interne. Les associations ont formé des ouvriers à la confection des foyers (chaque ouvrier est en mesure de travailler sur tous les postes de travail afin de varier les postures et réduire les risques de troubles musculo-squelettiques). Tandavanala a également formé des artisans autonomes (e dehors de la structure) qui produisent les carapaces en tôle métallique. Des chefs de production formés par les organisations sont chargés d'organiser et de suivre la production et d'apporter des solutions d'amélioration et d'optimisation. ADES dispose également d'un réseau de commerciaux présents dans les centres de vente et d'animateurs chargés d'organiser des séances de sensibilisation et vente. L'association contracte des revendeurs préalablement formés à l'utilisation des foyers. Tandavanala ne commercialise pas encore ses foyers.

Dans le cadre des projets de création ou renforcement de capacités d'ateliers menés par la GIZ, Planète Urgence et le CIRAD, des artisans sont formés à la production et à la vente de leurs foyers (aussi bien en vente directe qu'à des revendeurs locaux) ainsi qu'à la gestion de leur activité (gestion administrative et financière, gestion du flux de production, etc.). Dans le cadre du projet de la GIZ, l'organisation a choisi d'accompagner certains revendeurs sur les aspects marketing et de gestion. Les producteurs ont été mis en relation directe avec les revendeurs afin de réduire le nombre d'intermédiaires, autonomiser la filière et obtenir un prix de vente abordable pour les ménages ciblés. LLD a prévu de mettre les producteurs en contact avec des revendeurs mais également de mettre en place un centre d'achat intermédiaire (actuellement encore géré par le projet) afin de centraliser les commandes et faciliter la distribution des foyers. La GIZ souhaite continuer à former de nouveaux artisans et élargir sa zone d'action dans la région DIANA tandis que LLD souhaite atteindre les objectifs de commercialisation de Planète Urgence et du CIRAD avec la création de 18 ateliers dans les régions Analamanga et Itasy.

La connaissance initiale de ces artisans (déjà producteurs) leur a permis d'assimiler les améliorations de processus relativement facilement et ils seront, sur le long terme, en capacité de proposer des améliorations aussi bien au niveau des caractéristiques techniques des foyers que des procédés de production.

Suivi des bénéficiaires

Concernant le suivi des bénéficiaires, à savoir des consommateurs finaux des foyers améliorés, seule Tandavanala réalise un suivi précis de tous ses bénéficiaires des foyers diffusés durant la première phase pilote et envisage de maintenir cette démarche. En effet, en vue de l'obtention des crédits carbone, l'ONG doit enregistrer tous les clients dans une base de données et réaliser un suivi régulier. Ainsi, des agents terrain rendent régulièrement visite aux clients référencés pour vérifier la bonne utilisation du foyer, la satisfaction du client, etc. Les autres projets ne réalisent pas de suivi individuel mais les clients peuvent se rendre aux points de vente en cas de besoin. ADES propose par exemple une garantie de trois ans lors de la vente de leur foyer et les grilles de cuisson gratuitement. La GIZ, quant à elle, effectue des enquêtes panels pour connaître le niveau de satisfaction des clients finaux.

5.6.4 Durabilité et modèles économiques

Modèles économiques

Coûts de production, transport et prix de vente

A ce jour, les coûts de production des foyers améliorés des opérateurs rencontrés à Madagascar sont encore trop importants. Ils ne permettent pas une commercialisation à prix réel compte tenu des revenus moyens des ménages ciblés et des modes de paiement proposés. Il est difficile de connaître avec précision les principaux postes de dépenses des producteurs. Les enquêtes ont mis en évidence les points suivants.

- Les investissements initiaux (phase de conception du modèle de foyer amélioré, mise en place de la chaîne de production, achat des machines de production, etc.) sont très élevés et pratiquement jamais intégrés dans les prix de vente final des foyers pour amortissement. Cette pratique augmenterait significativement le prix de vente et rendrait les foyers inaccessibles pour les ménages clients. Ainsi, les investissements sont majoritairement subventionnés.
- Les coûts de production représenteraient entre 55 % et 70 % du prix final (la main d'œuvre entre 25 % et 30 % du prix final et la matière première entre 30 % et 40 %). Bien que l'argile soit disponible et à un prix abordable, les tôles métalliques sont relativement onéreuses.
- Les coûts liés au transport sont variables selon la quantité de foyers transportés et les distances à parcourir. Bien qu'aucune estimation n'ait été fournie par les acteurs interrogés, étant donné l'état du réseau routier à Madagascar et les distances à parcourir, il est très probable que les frais de livraisons sur des sites éloignés ou enclavés impactent fortement le prix final du foyer.
- Le prix de vente des foyers produits par les artisans formés par la GIZ et LLD intègre, en plus des coûts de production et de transport, des marges (de 10 % à 20 %) pour les producteurs et revendeurs.

Pour viabiliser et pérenniser la filière et proposer des prix de vente réels acceptables pour les potentiels clients, les coûts doivent être étudiés et les subventions réduites au maximum pour autonomiser financièrement les acteurs.

Coûts et subventions

Des opérateurs (producteurs-distributeurs)

Les foyers commercialisés par ADES et Tandavanala sont en partie subventionnés. Dans le cadre de l'initiative menée par Tandavanala, les investissements (conception du foyer amélioré, matériel de production, mise en place de l'atelier de production, etc.) ont été entièrement subventionnés par des bailleurs de fonds internationaux. Les premiers foyers commercialisés durant la phase de lancement l'ont été en promotion grâce aux mêmes subventions dans l'optique de leur stratégie marketing (faire connaître leur produit). Sur le long terme, l'ONG envisage de subventionner une partie de ses foyers via la finance carbone et met tout en œuvre pour réduire les coûts de production et atteindre un prix abordable pour les ménages ruraux ciblés.

ADES a également reçu des subventions pour le lancement de ses activités et l'amélioration de ses équipements de production. L'association bénéficie de financements via la finance carbone et de dons privés qui lui permettent de supporter ses hauts coûts de production et donc de réduire le prix de vente. L'association travaille sur la réduction de ces coûts.

Ces opérateurs devront être très vigilants aux risques de faillite en cas de chute du marché carbone ou du retrait des dons privés ou des bailleurs de fonds qui leur permettent aujourd'hui de maintenir leur activité.

Des artisans formés

Pour les artisans accompagnés par la GIZ ou dans le cadre du projet mené par Planète Urgence et le CIRAD, la subvention n'est pas directe puisqu'il s'agit uniquement des frais d'investissement liés au lancement de l'activité (formation des artisans, équipements de production, mise en place de la filière locale, etc.). Ces organisations ont longuement travaillé pour obtenir un processus de fabrication assez efficace (capacité de production et qualité des foyers obtenus) et permettant de produire à un coût raisonnable pour le marché local et sans subvention à la vente pour assurer la durabilité de la filière mise en place.

Moyens financiers et humains - coûts opérationnels et mise à l'échelle

Moyens financiers

Faute de moyens et du fait que le secteur soit encore peu développé et relativement risqué, toutes les initiatives rencontrées dans le cadre de cette étude ont bénéficié de subventions pour le lancement de leurs activités de production et commercialisation de foyers améliorés (mise en place de l'atelier de production, formation des ouvriers, mise en relation des acteurs, marketing, etc.). Ces subventions proviennent uniquement de bailleurs de fonds, de dons privés très souvent externes au pays ou de la finance carbone. A priori, le gouvernement n'a encore jamais accompagné financièrement une telle initiative.

Les opérateurs (producteurs-distributeurs), qui bénéficient d'installation plus *moderne*, n'arrivent pas encore à avoir des coûts opérationnels suffisamment bas pour proposer un prix de vente des foyers améliorés acceptables. Pour les artisans formés, bien que les coûts opérationnels soient moins importants que les opérateurs, des études sont encore en cours, notamment par la GIZ et LLD, pour assurer la viabilité économique et le prix de vente le plus adapté (modification des exigences techniques des modèles de foyers améliorés, négociation des coûts de transport de la matière première, amélioration de la chaîne de production, etc.). Jusqu'alors, de même que pour les investissements, le gouvernement ne favorise pas encore la filière via des facilités réglementaires, exonérations, etc.

De manière générale, les moyens financiers des opérateurs (producteurs et distributeurs) ou des artisans formés ne sont pas suffisants pour lancer leur activité de manière autonome, assurer la pérennisation de leurs activités et réaliser une potentielle mise à l'échelle (leur permettant une économie d'échelle). Les solutions de financement sont encore peu disponibles ou proposent des conditions trop onéreuses pour les acteurs (prêt bancaire à taux élevés, etc.).

Moyens humains

Les opérateurs (ADES et Tandavanala) bénéficient de compétences internes en production (chef de production, ouvriers), gestion administrative et financière et commercialisation (sensibilisation et vente). ADES dispose d'un large réseau de ressources humaines basées dans ses différents centres de distribution à travers le pays (commerciaux, animateurs terrain, techniciens, etc.). Son système de revendeurs locaux lui permet de diffuser ses foyers dans de nombreuses autres zones. Bien que l'activité ne soit pas encore à l'équilibre financier, les compétences internes existent et son réseau de distribution lui permette d'augmenter son taux de pénétration. Tandavanala, dispose de ressources lui permettant la diffusion de ces foyers dans sa zone d'intervention restreinte. Ses capacités financières ne lui permettent pas de recruter plus de personnels pour assurer un potentiel développement dans de nouvelles zones.

Les ateliers formés par les projets menés par la GIZ, Planète Urgence et le CIRAD bénéficient de peu de ressources humaines. Les artisans doivent souvent assumer plusieurs responsabilités (production, gestion administrative et logistique, etc.) et n'ont pas toujours les compétences suffisantes pour cela. Pour cette raison, les projets les forment et les accompagnent sur des moyens et longs termes afin de les autonomiser et de pérenniser leurs activités. En conséquence, il est encore difficile d'envisager une mise à l'échelle au niveau de chaque atelier. En revanche, si ces projets démontrent une durabilité des ateliers et une viabilité des filières de proximité mises en place (bénéfiques pour tous les acteurs de la chaîne de valeur, demande croissante en foyer amélioré, impacts réels, etc.), une mise à l'échelle de la mise en place d'ateliers de production pourrait être envisagée à condition de trouver des financements pour la mise en place des ateliers et le renforcement de compétences des parties prenantes.

5.6.5 Structuration de la filière

Les initiatives identifiées ici ne représentent qu'une petite part des foyers commercialisés sur le marché (en comparaison aux foyers dits améliorés produits par les petits artisans locaux) et ont mis en place des filières à plus ou moins grande échelle qui sont plus ou moins matures. Elles sont identifiées au niveau institutionnel et travaillent ensemble à la mise en place d'une réglementation cadre au niveau national avec la rédaction en consortium de la SNABE avec le Ministère de l'Energie. En revanche, ces dernières ne communiquent pas suffisamment entre elles pour mutualiser leurs actions et mener par exemple des actions de lobbying. Les petits producteurs de *foyers améliorés* locaux artisanaux informels sont les plus grands producteurs et distributeurs du pays. Ils travaillent souvent de manière indépendante et ne sont pas clairement identifiés ni connus

des institutions. Pour structurer, professionnaliser et formaliser leurs activités, ces derniers devraient s'organiser en consortium et désigner des représentants qui exprimeraient leur point de vue au niveau national par exemple lors de la préparation de réglementations les concernant.

5.6.6 Situation politique

A Madagascar, bien que la NPE mentionne la commercialisation des foyers améliorés à large échelle comme étant une priorité, aucune action concrète n'est encore menée. La Stratégie Nationale Bois-Energie (SNABE(6)) en cours d'élaboration prévoit un axe stratégique consacré aux foyers améliorés rédigé en partenariat avec les différents acteurs du secteur. Il s'agira principalement d'établir des normes de qualité des produits (efficacité, rapidité de cuisson, durabilité, solidité, etc.), des réglementations favorables (autorisation de mise sur le marché, sécurisation de la propriété intellectuelle, législation favorisant l'efficacité énergétique notamment dans les secteurs industriels, etc.) et d'accompagner à la sensibilisation et la formation de la population.

Les institutions locales à impliquer sont les maires ou chef Fokontany, souvent très influents, surtout en milieu rural. Les Directions régionales des Ministères concernés, si existantes et impliquées, peuvent être des appuis importants. Dans la région DIANA par exemple, la Direction du Développement Rural travaille, en partenariat avec la société civile, à la mise en place d'un Plan Régional en Energie Biomasse (PREB(63)).

5.7 Recommandations et conclusion

Le tableau ci-dessous récapitule les différents facteurs clés de succès dans le contexte de Madagascar et permet de mettre en évidence les facteurs critiques à faire évoluer pour que la filière puisse se développer et être durable. (plus de détail en Annexe 9.4)

Facteurs		-- / - / + / ++	
Facteurs techniques	Potentiel technique macro	Disponibilité des matériaux et matériels et technicité de production	+
		Caractéristiques techniques et design des foyers améliorés	+
		Robustesse des infrastructures (enclavement)	--
	Opérateurs	Aptitudes techniques et expériences	+
		Modèle économique et coûts de production	-
		Moyens financiers et humains	-
Facteurs économiques	Potentiels macro-économiques	Besoins et demandes, appropriation	-
		Solutions de financement	--
	Potentiels micro-économiques	Apports financiers	-
		Gains économiques	+
Facteurs sociaux	Amélioration des conditions de vie	Précarité énergétique	++
		Problèmes sanitaires	++
	Appropriation de la technologie	Changements d'habitudes	-
		Niveau d'éducation	--
Facteurs environnementaux		Déforestation, Erosion, GES, etc.	++
Facteurs institutionnels		Stabilité et implication politiques	-
		Politique énergétique et environnementale	+
		Filière foyers améliorés	-

Tableau 15 - Bilan des facteurs clés foyers améliorés

Bien que plusieurs facteurs clés de succès soient remplis à Madagascar, certains restent à renforcer pour assurer le bon déploiement de la technologie foyers améliorés à plus grande échelle et répondre aux enjeux majeurs de la réduction de l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson. Pour cela, il sera crucial de mettre des solutions en place afin **d'augmenter l'offre et la demande de foyers améliorés** dans l'ensemble du pays.

5.7.1 Facteurs techniques

Infrastructures et diffusion des foyers améliorés

L'enclavement d'un grand nombre de villages du fait de la mauvaise qualité du réseau routier impacte fortement le développement de la filière. Les ménages ont trop rarement accès aux informations sur les modes de cuisson améliorée et les foyers améliorés ne peuvent pas toujours être livrés dans ces zones ou du moins à des coûts trop élevés. Malgré la présence d'initiatives de formation en cascade à la fabrication de foyers artisanaux par les ménages eux-mêmes, les résultats ne sont pas suffisants. Les institutions locales, régionales et nationales doivent notamment se mobiliser pour améliorer les routes en milieu rural, pilier essentiel du développement rural.

Capacité des opérateurs - augmentation de l'offre

Les aptitudes techniques et les expériences des opérateurs identifiés à Madagascar sont relativement bonnes et les transferts de compétences réussis. En revanche, leur capacité de production et leur rayon d'action actuel ne suffisent pas à atteindre les objectifs de 70 % d'utilisateurs de foyers améliorés d'ici 2030, comme stipulé dans la NPE. Plusieurs activités devront être mises en place pour permettre l'augmentation de l'offre.

Mise en place de nouveaux ateliers de production de foyers améliorés

Afin de mettre en place une offre de foyers améliorés dans des nouvelles zones, de nouveaux ateliers de production doivent être mis en place. Les activités principales sont :

- La sélection d'un artisan producteur ;
- La formation du producteur aux aspects
 - Techniques de production (dosage, calibrage, délais, etc.) afin d'obtenir un foyer amélioré de qualité et répondant aux normes nationales ;
 - Administratifs et financiers afin qu'il puisse gérer sa petite entreprise correctement, optimiser ses revenus et développer son activité ;
 - Marketing afin d'être en mesure de commercialiser ses foyers auprès de revendeurs locaux ou directement auprès de la population.
- La mise en place de l'atelier (ou renforcement des capacités existantes). Il s'agira par exemple d'acheter et d'installer le matériel nécessaire à la production, de former les ouvriers à l'utilisation des machines, d'optimiser la chaîne de production et le temps de travail des ouvriers, etc. ;
- Faciliter la mise en place de la filière locale de commercialisation des foyers par la mise en relation des acteurs de la filière (contractualisation avec des transporteurs et revendeurs, formation de revendeurs locaux, etc.).

Pour assurer la durabilité de l'atelier, il sera nécessaire de :

- Choisir des zones à fort potentiel (régions dans lesquelles la pression sur la forêt est la plus grande, le prix du charbon est très élevé, etc.) ;
- Choisir le modèle de foyer amélioré (rapport qualité / prix) et la méthode de production qui soient adaptés aux matières disponibles, à la demande, aux compétences locales, aux moyens financiers (investissements et pouvoir d'achat local), etc. Dans les régions où la demande est forte, il pourra être envisagé de choisir des méthodes de production plus performantes et de réaliser des économies d'échelle (un volume plus important impliquerait un coût unitaire moindre) ;
- Vérifier la disponibilité, à proximité, des matières premières principales de la composition d'un foyer amélioré (argile, tôle métallique) ;
- Identifier des artisans locaux compétents et motivés ayant un atelier adapté à la mise en place de la chaîne de production du foyer amélioré ;
- Prévoir que l'artisan participe à l'investissement. S'il ne dispose pas de suffisamment de fonds, il pourra par exemple faire appel aux secteurs privés (banques, investisseurs, etc.). A court et moyen termes, la participation de bailleurs de fonds internationaux pour la formation des acteurs et une partie des investissements faciliterait le développement de la filière et sa mise à l'échelle à Madagascar.
- Assurer la mise en place de la chaîne de distribution (producteurs, transporteurs et revendeurs mis en contact et formés à leur métier) pour que les coûts soient adaptés au marché (marge des acteurs et prix de vente) ;

- Maintenir ou renforcer la sensibilisation et formation des ménages de la zone.

Augmentation de la capacité de production des ateliers existants

Dans les zones déjà couvertes par des artisans déjà formés, il pourra être envisagé, selon le contexte, de renforcer leur capacité de production par l'achat de matériel plus performant ou d'augmenter le nombre d'ouvriers qui travaillent à l'atelier. Dans les deux cas, il faudra prévoir une implication financière des artisans afin de les responsabiliser et d'augmenter leur implication et engagement dans leur activité.

Création ou renforcement d'un réseau de distribution

Dans ces nouvelles zones de production, des revendeurs devront être en mesure d'acheter auprès des artisans et de commercialiser les foyers améliorés auprès de la population locale. De même que pour les artisans, ces derniers devront être formés aux aspects techniques, de gestion et marketing afin d'assurer la viabilité de leur activité. Bien qu'une participation financière d'un bailleur de fonds puisse être envisagée, il est fortement recommandé que ces derniers investissent pour confirmer leur engagement et assurer la création d'une dynamique économique locale.

Modèles économiques et coûts de production

Les modèles économiques doivent intégrer dès le lancement des activités que le prix de commercialisation du foyer auprès des ménages reflète les coûts opérationnels réels (matière première, production, transport, marges des acteurs de la chaîne de valeur) et ceci quels que soit l'organisation porteuse (projet, gouvernement, artisans, etc.), les objectifs de l'action ou le mode de financement de l'activité (bailleurs internationaux, gouvernement, privés, etc.). Cela permet de réduire les risques d'abandon des opérateurs (s'il n'a plus de subvention par exemple) et de non rentabilité de la chaîne de valeur et d'assurer une plus grande appropriation des foyers améliorés par les familles et donc une pérennisation de la filière. Etant donné le niveau de vie et le pouvoir d'achat à Madagascar, il pourra par exemple être envisagé de produire plusieurs gammes de foyers améliorés (en termes de qualité et de prix). Tous ces foyers devraient répondre à des normes minimales (efficacité, solidité, durée de vie, etc.) mais auraient des performances différentes (dues à des techniques de production plus ou moins sophistiquées et onéreuses). Les ménages seraient libres de choisir les modèles les plus adaptés à leurs moyens.

Le modèle économique choisi devra être évalué et adapté selon les situations pour optimiser la viabilité de la filière ainsi que les bénéfices sociaux et économiques de chaque acteur impliqué (du fournisseur de matière première aux clients finaux). Il s'agira principalement d'optimiser les coûts de production et de transport (favoriser les circuits courts) pour avoir un prix final adapté au pouvoir d'achat de la population locale et permettant aux acteurs d'avoir un revenu décent.

Moyens financiers et humains des opérateurs

Les moyens financiers et humains des initiatives et des artisans locaux sont insuffisants pour prévoir une augmentation de la production et de la commercialisation des foyers améliorés à travers tout le pays. Des accompagnements doivent encore être proposés pour permettre une augmentation de la demande (sensibilisation) et de l'offre (production et diffusion). Cet accompagnement peut se matérialiser par des aides à l'investissement, la formation d'artisans, la mise en relation des acteurs de la filière ou la sensibilisation de la population. Aussi, des actions de lobbying peuvent être réalisées auprès des Ministères concernés pour la mise en place d'une réglementation favorable au développement de la filière.

Au niveau national, des stratégies de formation des étudiants et d'ouvriers qualifiés doivent être déployées pour que les compétences soient disponibles.

5.7.2 Facteurs économiques et sociaux

Augmentation de la demande

Bien que les différents opérateurs mènent chacun des actions de sensibilisation à leur échelle, la demande est encore trop faible à Madagascar. Ces actions sont essentielles mais insuffisantes (compte-tenu des moyens à disposition des opérateurs) pour augmenter considérablement la demande. Des activités à diverses échelles doivent être envisagées.

Actions de communication et sensibilisation à l'échelle nationale

L'Etat doit mettre en place des canaux de communication permettant d'atteindre le plus de population possible. Il pourrait financer des campagnes publicitaires via des spots à diffuser à la

télévision ou la radio aux heures de grande écoute ou distribuer des affiches incitatives à coller dans tous les Fokontany (à l'image des campagnes d'affichage pour la lutte contre la polio ou la peste). Ces communications devront principalement décrire les bénéfices économiques et sociaux induits par l'utilisation d'un foyer amélioré au niveau des ménages.

Les enfants étant très influents dans les familles, le Ministère de l'Éducation Nationale en partenariat, entre autres, avec les Ministères de l'Eau, de l'Énergie et des Hydrocarbures (MEEH), de l'Environnement de l'Écologie et des Forêts (MEEF), de la Santé devrait travailler à l'intégration de ces bonnes pratiques de cuisson dans les programmes scolaires dès le primaire (formation des instituteurs, mise à disposition d'outils pédagogiques, etc.). Les Ministères concernés pourraient organiser des séances de formation des Directions régionales afin qu'ils prennent conscience des enjeux et qu'ils soient en mesure de prendre des décisions pour appuyer le développement de la filière au niveau de leur région.

Ainsi, le gouvernement doit mettre en place une stratégie marketing à l'échelle nationale qui soit adaptée au contexte du pays et des besoins de la population. Il pourra travailler par exemple sur les messages à transmettre selon les zones d'intervention (zones rurales ou zones urbaines), les canaux et outils de communication, etc.

Actions de communication et sensibilisation aux échelles régionale ou locale

Au niveau régional ou local, les institutions devraient financer l'organisation d'événements en partenariat avec les opérateurs locaux afin de faire par exemple des interventions dans les écoles ou des séances de sensibilisation dans les villages. Cela permettrait, en plus de la vulgarisation du foyer amélioré, de faire connaître à la population locale les produits de qualité dans les zones ciblées et les canaux de distribution disponibles. Afin d'optimiser les impacts générés par ces sensibilisations, les animateurs et opérateurs devront s'assurer de bien connaître la culture et les coutumes locales afin d'adapter leur discours aux besoins de la population. Ils pourront réaliser en amont un diagnostic social de la zone d'intervention pour comprendre les enjeux majeurs. Ils devront s'exprimer en dialecte local et connaître les combustibles principaux ainsi que les types de marmites utilisés pour proposer des modèles de foyer adaptés. Ils pourront réaliser des démonstrations culinaires (préparation du plat traditionnel local) pour convaincre la population de l'intérêt des foyers améliorés.

Les Directions Régionales devraient travailler à la mise en place d'une stratégie marketing permettant d'atteindre un taux de pénétration important.

Les opérateurs doivent continuer les séances de sensibilisation dans leurs zones d'action existantes afin de maintenir la visibilité de leurs produits et d'informer la population des canaux de distribution disponibles dans leur village. Ils travailleront également sur les messages à véhiculer et effectueront des mesures d'impacts et de satisfaction des clients afin d'adapter entre autres leur modèle de foyer amélioré, leur message, leurs méthodes de communications, etc.

Appropriation - formation des bénéficiaires à l'utilisation des foyers améliorés

Dans les zones où de la sensibilisation a déjà été effectuée, les ménages semblent convaincus et l'achat des foyers améliorés est plus important. En revanche, des enquêtes montrent que ces acheteurs ne sont pas toujours des utilisateurs sur le long terme par manque de formation aux bonnes pratiques d'utilisation des foyers améliorés (taux d'appropriation moyen). Les opérateurs devront s'assurer que les revendeurs des foyers en contact direct avec la population aient des moyens suffisants (connaissances et compétences pour former les acheteurs de ces foyers, brochures ou notices d'utilisation, etc.) pour former ces acheteurs et qu'ils fournissent des explications systématiques. Ceci augmenterait le taux d'appropriation, l'image des foyers améliorés et les impacts positifs de leur utilisation.

Solutions de financement

Compte-tenu du contexte à Madagascar, (pouvoir d'achat, enclavement, réglementation, etc.), la filière foyers améliorés a encore besoin d'appuis pour se développer et être durable et pérenne sur le long terme. Ce soutien doit essentiellement se matérialiser par des **aides à l'investissement** (prêts ou subventions partielles pour l'achat de matériel de production, etc.), à la formation (formation technique, de gestion subventionnées) ou à la sensibilisation et marketing (communication et vulgarisation à large échelle sur le foyer amélioré subventionnées). Concernant les **coûts opérationnels**, ils peuvent être appuyés indirectement par le gouvernement via des réglementations (exonérations de taxes, fiscalité avantageuse), de la recherche et développement

(amélioration technique des modèles, optimisation de la chaîne de production, etc.) ou la finance carbone.

Financement par les artisans et le secteur privé

Il est crucial que les artisans et acteurs de la filière investissent dans le développement ou renforcement de leurs activités via l'achat de matériels, de véhicules, la mise à disposition d'un fonds de roulement pour les matériaux, etc. La création d'une microentreprise et l'implication du secteur privé (banques, institutions de microfinance, investisseurs privés, etc.) permettraient de professionnaliser et dynamiser la filière par une implication des acteurs sur le long terme, une meilleure gestion financière et notamment l'anticipation des risques ou l'établissement d'un modèle économique. Ceci implique une plus grande probabilité de pérennité et durabilité des activités via l'autonomie financière des acteurs de la chaîne de valeur (suivi financier régulier, anticipation des besoins, réinvestissement, etc.).

Malheureusement, les banques ou IMF existantes à Madagascar ne sont pas présentes dans tout le pays (globalement absentes des milieux ruraux) et proposent encore à cause de la situation politique et économique (instabilité politique, risques financiers, etc.) des taux élevés difficiles à respecter pour les petits entrepreneurs. Des aides doivent donc encore être prévues pour soutenir le développement de ces institutions privées de prêts (banques, IMF, etc.) et la mise à l'échelle de la filière foyer amélioré au niveau national.

Financement par l'Etat

Bien qu'il soit préférable que son implication soit principalement indirecte, le gouvernement a un rôle crucial à jouer dans l'accompagnement du développement de la filière foyer amélioré à Madagascar. Ce dernier a plusieurs leviers d'action pour cela.

Réglementation et fiscalité

Il doit travailler à une réglementation incitative qui pourrait par exemple prévoir :

- L'exonération des taxes sur l'achat des matières premières pour les artisans de foyers améliorés et des impôts pour les acteurs de la filière (revendeurs, producteurs et transporteurs) pour
 - Réduire le prix de vente - accessibilité à une plus large part de la population ;
 - Augmenter les marges des acteurs de la filière pour viabiliser la filière et faciliter l'augmentation de capacité de production des ateliers existants (réinvestissement grâce aux bénéfices) ;
- L'exonération des taxes sur le matériel importé pour la mécanisation de la production (broyeuse, boudineuse, presse, etc.) facilitant ainsi la mise en place de nouveaux ateliers de production de foyers améliorés de qualité ;
- Un mécanisme de certification des foyers améliorés pour renforcer la commercialisation de foyers de qualité dans un cadre formel ;
- Un mécanisme de prêt à un taux préférentiel (voire nul) pour les artisans qui souhaiteraient lancer leur activité ou renforcer leur capacité de production ;
- etc.

Reconnaissance formelle auprès de la chambre de commerce

Le gouvernement pourrait également prévoir d'accompagner la chambre de commerce à l'intégration et la reconnaissance spécifiques des artisans producteurs de foyers améliorés qui pourraient par exemple se regrouper en coopérative afin de réduire leurs charges fixes et donc les coûts de production.

Communication et vulgarisation des foyers améliorés

Comme expliqué précédemment (Augmentation de la demande), le gouvernement, aussi bien aux niveaux national que régional ou local peut accompagner la sensibilisation de la population par des spots radio-télévisés, la formation des institutions régionales et des instituteurs, la subvention d'événements de communication ou d'impression et diffusion d'outils de communication, etc.

Il pourra également mettre en place des programmes scolaires, aussi bien au niveau primaire (sensibilisation des enfants aux bénéfices de l'utilisation d'un foyer amélioré) qu'au niveau universitaire (formation technique approfondie) pour augmenter la connaissance générale de la technologie et former des ressources humaines spécialisées dans le domaine.

Stratégie Nationale et régionale de développement de la filière

En dehors de la Nouvelle Politique Energétique qui fixe des objectifs à atteindre et bien qu'une Stratégie Nationale Bois Energie soit en cours de rédaction, à ce jour, aucune stratégie présentant

les actions concrètes du gouvernement n'a été partagée et appliquée. Au niveau régional, seules très peu de régions (notamment la région DIANA avec le PREEB) ont mis en place un plan stratégique pour la gestion du bois-énergie, l'utilisation des foyers améliorés et des énergies alternatives. Le gouvernement, via les ministères concernés, devrait donc travailler à mettre en place une stratégie concrète et donner les moyens aux régions d'établir leur plan d'actions. Il pourrait envisager d'établir un programme d'investissement global (public / privé / bailleurs internationaux) pour la mise à l'échelle de la filière foyer amélioré et l'atteinte des 70 % d'utilisateurs d'ici 2030.

Recherche et Développement

Par l'intermédiaire du CNRIT, le gouvernement (Ministère du Budget) participe à la recherche dans le domaine des foyers améliorés. Cependant, cette structure pourrait être renforcée et devenir par exemple le centre d'accréditation (certification) des foyers améliorés permettant alors leur mise sur le marché avec un niveau d'efficacité (notation), un prix maximum conseillé, etc. Il pourrait aussi faire des recherches plus approfondies sur les différents modèles de foyers améliorés adaptés aux contraintes des différentes zones d'intervention (combustibles disponibles, habitudes de cuisson, etc.)

Amélioration des infrastructures

Enfin, le gouvernement doit prévoir d'améliorer les infrastructures au niveau national (routes goudronnées, ponts, réhabilitation de pistes, etc.) afin de faciliter l'approvisionnement des matières premières aux ateliers et des foyers améliorés dans toutes les zones du pays. Ce désenclavement permettrait également de réaliser des séances de sensibilisation et de vulgarisation dans les communes même éloignées de la route nationale et donc d'atteindre une plus large partie de la population, notamment rurale.

Subvention par les bailleurs de fonds

Compte tenu du contexte à Madagascar (instabilité politique, peu d'investisseurs privés, prêts à taux élevés, etc.), les bailleurs de fonds internationaux doivent encore accompagner la mise à l'échelle de la filière foyer amélioré et la mise en place de nouveaux ateliers de production ou le renforcement d'ateliers existants dans une optique de développement économique local (niveau d'un district par exemple). Cet appui peut se matérialiser notamment par :

- La subvention d'événements de sensibilisation et vulgarisation de masse par des associations locales spécialisées ;
- L'appui au renforcement des compétences des acteurs de la filière (producteurs, revendeurs) aux aspects techniques, de gestion et de marketing ;
- L'appui à la mise en place et formalisation de la filière locale (mise en relation des acteurs, contractualisation, etc.) ;
- La subvention partielle du matériel de production (initialisation d'activité ou augmentation de capacité) ;
- L'appui aux institutions nationale, régionale et locale pour le renforcement de leurs actions favorisant le développement de la filière ;
- La réalisation d'actions de lobbying pour la mise en place de réglementations favorables à la mise à l'échelle, la professionnalisation et la reconnaissance des acteurs de la filière.

Afin d'assurer la durabilité de la filière mise en place dans le cadre d'un projet subventionné par des bailleurs de fonds internationaux, il est crucial de :

- Prévoir un modèle économique viable et adapté au contexte de la zone d'intervention (coût de revient, marges, prix de vente) ;
- Impliquer les institutions locales et régionales pour transmettre des connaissances et compétences et mettre en place une stratégie de maintien de la filière mise en place ;
- Travailler en partenariat avec les organisations locales qui œuvrent déjà (si présentes) dans le domaine.

D'autres sources de financements innovants

D'autres mécanismes de financement peuvent être envisagés pour permettre la viabilité économique de la filière foyers améliorés. Pour l'investissement, *l'impact investing* (stratégie d'investissement cherchant à générer des synergies entre impact social, environnemental et

sociétal d'une part, et retour financier neutre ou positif d'autre part³⁴) est une solution alternative qui se développe de plus en plus. Concernant les coûts opérationnels, il pourra être envisagé de faire appel à la finance carbone. Attention tout de même à la volatilité du marché carbone qui ne permettra pas d'assurer un revenu fixe mais pourra être considéré comme un « plus » : mise à disposition d'un fond de roulement (augmentation de la trésorerie), investissement ponctuel dans du nouveau matériel, etc.

Apports financiers

A Madagascar, les dépenses énergétiques sont des postes encore très élevés pour les ménages, notamment l'achat de combustibles et le temps passé à la collecte du bois. En revanche, les ménages disposent encore rarement de moyens suffisants pour acheter un foyer amélioré au comptant. Il est donc nécessaire de prévoir des solutions pour faciliter leur accès à ces foyers. Des organismes de microfinance existent mais sont majoritairement présents en milieu urbain et ne proposent pas toujours d'offres adaptées à ces petits achats. Ces derniers devraient être incités à proposer des offres adaptées (faibles taux, épargnes, modalités de remboursement, conditions d'obtention d'un prêt à faible montant, etc.). Des initiatives, comme celle menée par l'OSDRM dans le Nord de Madagascar, mettent en place des Groupements d'Épargnes Communautaires (GEC) permettant aux ménages d'épargner et d'emprunter des petites sommes à des taux intéressants auprès d'une communauté de voisins.

Niveau d'éducation et changements d'habitudes

Un gros travail consistera à sensibiliser la population pour changer leurs habitudes culinaires. Ceci passera, comme décrit précédemment par la formation des enfants (primaires, collèges) et des étudiants, la sensibilisation des institutions gouvernementales à tous les niveaux (national, régional et local), l'organisation d'évènements de communication et de sensibilisation de masse dans les zones d'intervention, etc. Ces activités devraient être principalement financées par le gouvernement et pourraient être ponctuellement appuyées par des bailleurs de fonds.

5.7.3 Facteurs institutionnels

Politique énergétique

Bien que la politique énergétique définie dans la NPE se soit fixé un objectif ambitieux que 70 % des ménages utilisent un foyer amélioré en 2030 (contre seulement 5 % actuellement), aucune action concrète n'est encore mise en place par le gouvernement.

Ainsi, les acteurs des filières bois-énergie et foyer amélioré (comme les associations de producteurs de bois, de charbonniers, les initiatives de reboisement, de production et distribution de foyers améliorés à bois ou à charbon, les ONG nationales ou internationales impliquées dans cette filière, la société civile, les institutions locales, les acteurs des Programmes Nationaux sur le changement climatique, les bailleurs de fonds concernés, etc.) doivent créer un groupement fort afin de mener des activités de lobbying visant à inciter le gouvernement et toutes les institutions impliquées à accélérer les démarches vis-à-vis de cet enjeu majeur qu'est l'utilisation de foyers économes et plus généralement la production et la consommation de bois-énergie à Madagascar.

Filière foyers améliorés

Aucune filière n'étant réellement créée au niveau national (rassemblement des acteurs en coopérative, échanges d'informations, réglementation générale, communication commune, etc.), les acteurs existants devraient se rassembler pour mutualiser leurs actions, échanger leurs bonnes pratiques et favoriser le développement d'une stratégie pour la filière au niveau national. Ils pourraient par exemple appuyer l'Etat à l'établissement d'une stratégie de déploiement national, proposer les critères et seuils pour la certification des foyers améliorés, appuyer à la réglementation de la filière, réaliser des outils de communication communs, etc. par leurs connaissances des activités de la filière, du contexte et des enjeux de chacune de leur zone d'intervention.

5.7.4 Conclusion

Les opérateurs de foyers améliorés à Madagascar permettent le développement de la filière à travers tout le pays à différentes échelles. Ils proposent des modèles techniques durables qui

³⁴ Voir la définition de l'*impact investing* et les références proposées sur Wikipedia pour plus d'informations : https://fr.wikipedia.org/wiki/Investissement_%C3%A0_impact_social

semblent adaptés aux besoins des ménages et permettent une réduction de leur consommation de bois-énergie qui impliquent de réels impacts environnementaux et socio-économiques.

En revanche, la grande majorité des initiatives n'est pas autonome financièrement. Elles font appel à diverses sources de financements extérieurs et non gouvernementaux et proposent des foyers améliorés dont le prix de vente est subventionné. Les filières mises en place ne sont pas pérennes et risquent de s'effondrer lors du retrait des porteurs de projet si aucune stratégie de sortie de ces modèles économiques n'est envisagée sur du long terme. De plus, les foyers ne sont commercialisés que dans certaines zones d'action restreintes qui ne permet pas une diffusion massive comme souhaité par la NPE.

Tous les acteurs concernés par cette filière, les opérateurs, le gouvernement et les institutions régionales et locales, les artisans producteurs, les associations et ONG qui œuvrent dans le domaine, les bailleurs de fonds, les IMF, etc. doivent se concerter afin d'établir un modèle de diffusion à large échelle et atteindre l'objectif ambitieux de la NPE de plus de 70 % des ménages malagasy qui cuisinent avec un foyer amélioré (à bois-énergie ou toute autre énergie *améliorée* alternative). L'offre et la demande doivent être augmentées via une sensibilisation de masse et un renforcement des capacités des acteurs de la filière. Une stratégie globale de déploiement de la technologie (autonomisation des acteurs – producteurs et revendeurs, création de la demande via des événements de sensibilisation, mise en place d'une réglementation incitative – exonération de taxes, contrôle qualité, facilité de paiement, etc., des solutions de financement innovant mis en place, etc.) devrait être formalisée et mise en œuvre par ces acteurs pour assurer la viabilité de la filière et la mettre à l'échelle à travers tout le pays.

6 Conclusion générale

6.1 Généralités

L'enjeu de l'utilisation de bois-énergie en foyer traditionnel étant crucial à Madagascar, des solutions alternatives doivent être mises en place pour réduire les impacts néfastes environnementaux, sociaux et économiques induits.

La diffusion des technologies foyers améliorés et biogaz semblent pertinentes et adaptées au contexte de Madagascar et les opérateurs existants le démontrent, chacun à leur échelle.

En revanche, pour atteindre les objectifs fixés par la Nouvelle Politique Énergétique (NPE) et réduire drastiquement les pratiques de cuisson *ancestrales* encore largement présentes, un déploiement à plus large échelle doit être envisagé. Pour cela, il est nécessaire de mettre en place les activités suivantes :

- Le renforcement de l'implication de l'Etat dans la mise en œuvre des filières par la réglementation et l'encadrement de leur diffusion (certification, exonération de taxes, reconnaissance administrative particulière des acteurs de la filière, etc.) un appui technique (recherche et développement), une intensification de la communication et la sensibilisation de la population (spots publicitaires, évènements, etc.), la mise en place d'une stratégie nationale, l'accès à des facilités de paiement pour les ménages et d'investissement pour les entrepreneurs, l'amélioration des infrastructures routières du pays, la formation de ressources humaines qualifiées dans les secteurs (intégration dans les programmes universitaires), etc.
- L'augmentation des capacités des opérateurs existants ou la création de nouvelles entreprises du secteur (adaptation de l'offre à la demande, augmentation des capacités de production / installation, investissement accru pour un développement des activités à plus grande échelle, rentabilité des activités, amélioration des connaissances et compétences des ressources humaines, etc.) ;
- L'augmentation de la demande principalement par la sensibilisation des ménages par l'éducation (explication de principes) et la démonstration (organisation de visites de site, séances de démonstration d'utilisation) basées sur des mesures réalisées dans le cadre de projets pilotes.

6.2 Filière biogaz

Etant donné le contexte de la filière biogaz (faible nombre de biodigesteurs installés, méconnaissance de la technologie par la population et les institutions, faible nombre d'opérateurs existants, etc.), il est recommandé de réaliser, dans un premier temps, des projets pilotes (subventionnés par des bailleurs de fonds, idéalement menés en partenariat avec le gouvernement ou les institutions locales) avec des opérateurs existants afin de démontrer la pertinence (impacts induits) mais surtout la réelle appropriation de la technologie par les ménages malgaches. Ces projets permettront de mesurer les impacts positifs de la diffusion de biodigesteurs au niveau du ménage (réduction des dépenses, création d'Activités Génératrices de Revenus (AGR), réduction des maladies respiratoires et oculaires, amélioration des conditions de vie des femmes, etc.), ainsi qu'au niveau de la région ou du pays (réduction de la déforestation, création d'une dynamique économique, réduction des dépenses publiques, etc.). Une fois mis en évidence, ces impacts pourront être communiqués et utilisés pour démontrer la pertinence du développement de la filière. En parallèle, il est crucial que le gouvernement développe un cadre favorable au développement de cette filière au travers des points évoqués précédemment.

Les points de vigilance du déploiement de cette filière sont :

- L'accès à des facilités de paiement adaptées pour les ménages qui souhaitent investir, compte tenu du prix initial d'installation d'un biodigesteur ;
- La formation et le suivi régulier des ménages et l'accompagnement dans la prise en main du biodigesteur, notamment pour la valorisation du digestat, point essentiel à la rentabilisation de l'investissement initial ;
- L'autonomisation technique et financière des opérateurs par la formation de ressources humaines qualifiées qui devront être en mesure de mener leurs activités d'installation de biodigesteurs et de services après-vente / suivi des clients et la formalisation administrative de leurs activités commerciales.

6.3 Filière foyers améliorés

Bien que la filière foyers améliorés soient plus avancées que celle du biogaz, elle doit encore être appuyée afin de pouvoir diffuser des foyers améliorés à l'échelle nationale. Au regard des expériences déjà menées à Madagascar, il est recommandé de développer des activités à l'échelle locale en renforçant les capacités d'artisans producteurs de foyers améliorés existants. Il s'agira par exemple de former les artisans aux aspects techniques de production (amélioration de la qualité des foyers, réduction des coûts de production, optimisation du temps de production, etc.) et de gestion administrative et financière (formalisation des activités, suivi de la rentabilité de l'activité, etc.), de les appuyer à l'investissement dans du matériel technique par des subventions ponctuelles ou l'accès facilité à des solutions d'investissement ou d'augmenter la demande locale par l'organisation de sensibilisation de la population voisine. Ces micro-filières locales devront être viables et pérennes pour assurer leur durabilité et autonomie.

Cette solution permettra notamment de développer une dynamique économique locale, d'adapter les modèles de foyers produits au besoins des ménages locaux ou de réduire les frais et les impacts environnementaux néfastes du transport des produits.

Les points de vigilance du déploiement de cette filière sont :

- L'adaptation des modèles de foyers améliorés produits à chaque zone de diffusion en termes de pratiques culinaires mais aussi de prix (pouvoir d'achat) ainsi que leur qualité (efficacité et durée de vie) ;
- La formation aux bonnes pratiques de l'utilisation du modèle de foyer amélioré aux clients afin d'assurer leur appropriation et la durabilité des foyers ;
- L'autonomisation technique et financière des opérateurs par la formation de ressources humaines qualifiées qui devront être en mesure de mener leurs activités de production et de commercialisation des foyers améliorés sans appui extérieur sur le long terme.

7 ANNEXES GENERALES

7.1 Madagascar et les Objectifs du Millénaire pour le Développement (68)

La situation économique, sociale et environnementale de l'île est préoccupante. Bien que le pays se soit fixé des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) ambitieux, le bilan est loin d'être réjouissant.

Pas de pauvreté



En 2013, plus de 90 % de la population malgache dispose de moins de 2\$ par jour. 71 % de la population vit en dessous du seuil de pauvreté national (objectif 2015 35 %) et 53 % est en situation d'extrême pauvreté (objectif 2015 14 %).

Faim « Zéro »



En 2013, plus de 75 % de la population malgache n'atteint pas le niveau minimum d'apport calorique de 2133 Kcal par jour et plus de 80 % ne consomme que des aliments de « faible » qualité. Plus de 30 % des enfants de moins de 5 ans connaissent une insuffisance pondérale (pour un objectif de 19 % en 2015), 47 % souffrent de malnutrition

chronique dont 18 % de malnutrition sévère.

Bonne santé et bien-être



En 2013, plus de 55 % des ménages malgaches se classent parmi les plus pauvres et 43 % d'entre eux se déclarent malheureux, 40 % très malheureux. La mortalité infantile des moins de 5 ans a beaucoup diminué en passant de 159‰ en 1997 à 62‰ en 2013 même si l'objectif de 53‰ n'est pas atteint. L'objectif de réduire de $\frac{3}{4}$ le taux de mortalité maternelle entre 1990 et 2015 n'est pas atteint car elle est restée stationnaire à 478 décès pour 100 000 naissances (pour un objectif de 122). Près de 55 % des accouchements se font encore à domicile. Le taux de personnes qui n'ont jamais entendu parler des infections sexuellement transmissibles (IST) a augmenté en passant de 34 % à 41 %. Enfin, concernant le paludisme, on observe une augmentation de l'utilisation des moustiquaires dans les ménages ou encore de la prise en charge précoce des cas surtout chez les enfants de moins de 5 ans grâce à un réel effort déployé par Madagascar.

Education de qualité



L'objectif national fixé en 2005 de l'Education Pour Tous (EPT) avait permis une nette progression des effectifs scolarisés passant de 3.4 millions à 4.3 millions entre 2004 et 2009. Mais la crise de 2009 a provoqué une stagnation des effectifs scolarisés, une augmentation des abandons et une régression de la qualité des apprentissages. En 2012-2013, le taux net de scolarisation dans le primaire ainsi que le taux d'alphabétisation des plus de 15 ans étaient de 70%. La situation est préoccupante car ces taux sont en nette régression ces dernières années.

Egalité entre les sexes



L'égalité fille/garçon est atteinte pour la scolarisation au niveau primaire. Mais au niveau de l'enseignement secondaire (collège : ratio de 0.93, lycée : 0.86) ou de l'enseignement supérieur (0.73), elle reste à améliorer. Les femmes sont encore beaucoup moins nombreuses dans le secteur salarié non agricole que les hommes (38 % contre 62 %). Pour un même emploi, en moyenne, une femme ne touche que 72 % de ce que gagne un homme.

Eau et assainissement



En 2013, selon la définition des OMD 27 % de la population a un accès à l'eau potable amélioré (77 % en milieu urbain, 17 % en milieu rural), 7 % utilisent des infrastructures d'assainissement améliorées – toilettes (24 % en milieu urbain, 4 % en milieu rural). Par ailleurs, près de 10.000 malgaches (dont 6.200 enfants) meurent chaque année à cause d'un manque d'accès à un assainissement adéquate.

Energie propre et à un coût abordable



L'énergie est le deuxième poste de dépense (derrière l'alimentation) d'un ménage par mois avec 11 % du budget total (5). La consommation énergétique par habitant de 0.2 tep/an est parmi les plus faibles du monde (1.6 tep/an/hab en moyenne dans le monde). Les taux d'électrification étant très faible (15 % en milieu urbain, 5 % en milieu rural), les ménages ont principalement recours à l'utilisation du bois et du pétrole (plus de 98 % de la consommation des ménages) pour les besoins primaires que sont la cuisson et l'éclairage.

Travail décent et croissance économique



Bien que le ratio emploi/population soit relativement élevé (83.3 %), on note que la proportion de la population occupée qui dispose de moins de 1.25\$ par jour est de 68 % et que plus de 86 % sont des travailleurs indépendants ou familiaux (c'est-à-dire travaillent dans l'agriculture ou dans un secteur informel). Le taux de chômage est à 1.7 % mais près de 40 % des actifs sont en situation de sous-emploi (durée de travail inférieure à 35h contre leur gré) ou d'emplois inadéquates (salaire inférieur au minimum admis). Les revenus salariaux annuels moyens sont estimés à 1.813.000 Ar contre 978.000 Ar pour les revenus agricoles.

Inégalités réduites



20 % des plus riches consomment près de 48 % de la masse totale contre 6 % pour les 20 % les plus pauvres. Les 10 % les plus riches ont un niveau de vie 6.1 fois plus aisé que celui des pauvres en 2013 (contre 5.4 en 2010). Les inégalités sont aussi très flagrantes entre les populations urbaine et rurale. (86% des habitants des milieux ruraux sont touchés par la carence qualitative des aliments contre 70 % en milieu urbain ; la fréquentation du primaire est de 66 % en milieu rural contre 86 % en milieu urbain ; le taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans est de 64 ‰ en milieu rural contre 39 ‰ en milieu urbain. D'autres inégalités perdurent comme celles liées au genre ou au niveau d'étude.

Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques



D'après l'Agence américaine océanographique et atmosphérique, « Madagascar est fortement exposée aux cyclones tropicaux et est un des pays les plus vulnérables au changement climatique. » Ces dernières années, le pays a connu de nombreux aléas climatiques comme des grandes périodes de sécheresse ou des inondations.

7.2 La Nouvelle Politique Énergétique de Madagascar (2015) (9)

En 2015, le gouvernement malgache a mis en place une Nouvelle Politique de l'Énergie (NPE) qui s'inscrit dans le cadre du Plan National de Développement (PND) 2015-2019 afin « d'améliorer la vie de la population malgache et protéger la planète pour les générations futures » et « redynamiser le secteur énergétique pour ainsi permettre un progrès rapide, palpable et continu sur les domaines économiques, sociaux et environnementaux ».

En conséquence, afin de réduire l'utilisation du bois-énergie et des énergies fossiles (essentiellement pétrole), la NPE prévoit de mettre en œuvre une stratégie selon les principes suivants :

- Valorisation du capital naturel et préservation de l'environnement
 - Gestion durable de la filière bois-énergie – reboisement, amélioration des techniques d'exploitation et transformation du bois, législation contre la coupe illicite et incitant la commercialisation régulée du bois ;
 - Promotion des filières alternatives pour l'énergie domestique – support à la mise en place de foyers économes (à gaz, briquettes, agro-combustibles) ;
- Accès à l'énergie durable pour tous via un plan d'électrification des communautés rurales, périurbaines et urbaines
 - Développement du réseau électrique national et renforcement du secteur de l'hydroélectricité ;
 - Plan de redressement et de réhabilitation de la JIRAMA ;
 - Encouragement des communautés locales pour le développement des énergies renouvelables, notamment les systèmes solaires domestiques (SSD) et lampes solaires ;
 - Electrification rurale soutenue par l'ADER (soutien technique et financier)
- Sécurité et indépendance énergétique du pays (diversification du mix énergétique, développement des énergies renouvelables, réduction des importations d'hydrocarbures)
- Adaptation et renforcement du cadre réglementaire et institutionnel et de l'environnement des affaires
- Financement pérenne des besoins énergétiques (mécanismes financiers, rationalisation des budgets publics)
- Renforcement des capacités et des connaissances (formations professionnelles des institutions, création de procédures, adaptation des programmes scolaires, appui des centres de recherches et laboratoires)

A titre d'exemple, la NPE souhaite qu'à l'horizon 2030 :

- 70 % des ménages soient équipés en foyers de cuisson économes utilisant des combustibles appropriés (contre 4 % aujourd'hui)
- 70 % des ménages ont un accès durable à l'énergie moderne (électricité et éclairage)
- 85 % de l'électricité produite par des centrales proviendra de sources d'énergie propres (75 % hydroélectricité, 5 % éolien, 5 % solaire) et plus de 50 % de la production décentralisée sera issu du renouvelable (dont le biogaz).

7.3 Comparaison des énergies de cuisson alternatives au bois-énergie

Les tableaux présentés ci-dessous fournissent une *notation* pour plusieurs sous-critères pour chacun des critères techniques, économiques, environnementaux et sociaux pour chacune des alternatives possibles à l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson. Pour chaque *note*, une précision est apportée dans la case correspondante.

Le système de notation est le suivant :

Pas du tout pertinent	Pertinent	Pas influent	Pertinent	Très pertinent
-----------------------	-----------	--------------	-----------	----------------

Critères Techniques

Critères Techniques	Facilité d'approvisionnement (combustibles, équipements, matériaux)	Complexité du processus de fabrication, utilisation et maintenance du système de	Accessibilité du produit fini	Stockage de l'énergie	Facilité d'utilisation et de prise en main
GPL	GPL importé (aucune production nationale/locale) + importation des bouteilles vides	Aucun processus (car produit fini importé) mais besoin de disposer d'un système adéquat pour le stockage et la mise en bouteille	Livraison régulière des bouteilles difficile en zones enclavées	Stockage en bouteille, gaz non périssable, petit volume mais nécessite une compression.	Connu, très peu utilisé, besoin en formation utilisation (allumage, réglage de la puissance), peur des explosions (formation aux risques et
Electricité	Pétrole importé pour faire fonctionner les centrales alimentant le réseau électrique. Production hydraulique à renforcer.	Centrale de production d'électricité nécessitant une importante maintenance	Connexion au réseau des ménages enclavés très difficile et coûteuse, production nationale insuffisante (délestage)	Electricité utilisable lors du besoin, mais problématique très importante du délestage	Connu, très peu utilisé, besoin en formation utilisation (allumage, réglage de la puissance)
Foyer à bioéthanol	Approvisionnement local à partir des plantes contenant du saccharose (canne à sucre) mais attention à la concurrence d'usage des terres. Certains matériaux importés pour la fabrication des foyers	Unité de production de bioéthanol nécessitant une maintenance assez importante. Technicité requise pour la fabrication du foyer à bioéthanol.	Production nationale mais problématique d'approvisionnement en bioéthanol des zones enclavées	Stockage facile en bouteille (liquide)	Très peu connu / Très peu utilisé, besoin en formation utilisation (allumage, réglage de la puissance) et sensibilisation.
Four solaire	Indépendance de fournisseur extérieur, aucune importation d'énergie ni de biomasse.	Processus de production très simple. Utilisation de matériaux disponibles. Entretien régulier (nettoyage) mais pas technique	Livraison des fours puis production décentralisée (pas d'autres livraisons car pas besoin de combustibles)	Pas de stockage d'énergie possible (du "jour au jour" selon le niveau d'ensoleillement)	Peu connu, très peu utilisé. Simple de prise en main. Mais dépendance en l'ensoleillement pour fonctionner.
Combustible biomasse	Approvisionnement local à partir des résidus de biomasses (+/- liant parfois importé). Attention la saisonnalité, le conflit d'utilisation et le coût éventuel. Certains matériaux/équipements importés pour la fabrication des briquettes.	Technicité de fabrication des briquettes peut être élevée (dépend des briquettes) et peut nécessiter l'utilisation de machines appropriées (compression). Briquettes artisanales - pas technique, peu de maintenance	Production nationale, mais problématique de livraison des zones enclavées	Facile à stocker (besoin d'un endroit sec et couvert), mais peut être volumineux.	Utilisation proche du bois-énergie
Biogaz	Approvisionnement local à partir des résidus de biomasses fermentescibles. Besoin d'accès à l'eau naturelle. Certains équipements importés pour installer un digesteur (terminaux, bêche..).	Construction du biodigesteur technique mais transfert de compétences simple (maçonnerie). Processus de production de biogaz relativement simple mais nécessitant des paramètres particuliers pour optimisation (température, C/N, pH ...). Maintenance moyenne.	Nécessite un accès au village pour réalisation des travaux de construction (possibilité de livraison de ciment, etc.). Puis production décentralisée.	Stockage facile (dans le biodigesteur ou dans des ballons de stockage extérieurs. Peut être volumineux (basse pression)	Peu connu, peu utilisé, besoin en formation utilisation (allumage, réglage de la puissance), peur des explosions (formation aux risques et sensibilisation)

Tableau 16 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères techniques

Critères Economiques

Critères Economiques	Investissement initial pour le ménage	Opportunités de déploiement à plus grande échelle	Dépenses de consommation des ménages (hors investissement)	Dépenses pour la maintenance des foyers par les ménages	Dynamique économique locale
GPL	Investissement assez important (bouteille de gaz + réchaud à gaz)	Demande de réhabiliter le réseau routier. Accompagner les ménages à l'investissement dans la première bouteille (puis consigne). Prévoir des formations à l'utilisation. Long terme : anticiper les importations pour éviter les pénuries.	Achat du gaz selon consommation. Achat par "gros volume" (pas au jour le jour) => changement d'habitudes. Coût relativement élevé.	Besoin très faible : équipements très robustes (bouteille + réchaud gaz)	Impact très faible : énergie importée (sauf distributeurs)
Electricité	Investissement très important : connexion au réseau électrique (ou achat d'un panneau solaire assez puissant) et réchaud	Demande d'étendre le réseau de connexion électrique dans les zones enclavées. Accompagner les ménages à l'investissement. Prévoir des formations à l'utilisation. Long terme : augmenter la production électrique pour réduire le délestage.	Paiement de l'électricité selon la consommation, peut être étalé mensuellement (par au jour le jour => changement d'habitudes). Coût relativement élevé.	Besoin moyen : équipements robuste ; renouvellement réchaud électrique à prévoir	Impact moyen : énergie principalement importée ; création d'emplois (technicien...)
Foyer à bioéthanol	Investissement moyen (brûleur à éthanol)	Demande la mise en place des parcelles de production et usine de production. Réseau de distribution du bioéthanol (réhabilitation des routes) Prévoir des formations à l'utilisation. Long terme : augmenter la production de bioéthanol (surface cultivée, capacité de production de l'usine de production) pour éviter les pénuries	Paiement de l'éthanol selon la consommation. Peut-être acheté au jour le jour. Coût relativement élevé.	Besoin faible : foyer moyennement coûteux à renouveler	Impact assez fort : énergie produite localement ; création d'emplois (technicien foyer...)
Four solaire	Investissement moyen.	Demande d'augmenter la capacité de production des fours solaires. Prévoir des formations à l'utilisation. Prévoir des énergies alternatives (ensoleillement insuffisant)	Pas de dépense supplémentaire	Besoin faible : four assez robuste et moyennement coûteux à renouveler	Impact moyen : production des fours et distribution.
Combustible biomasse	Investissement très faible, briquettes souvent utilisables avec un foyer traditionnel	Demande de réhabiliter le réseau routier pour livraisons régulières. Mise en place d'ateliers de production répartis. Fabrication artisanale pour autonomisation de la filière (pas d'importation de machine dépendante d'énergie fossile)	Achat de briquettes au jour le jour selon besoin. Prix souvent abordable.	Besoin très faible : foyer peu coûteux à renouveler	Impact assez fort : production locale ; création d'emplois (technicien...)
Biogaz	Investissement important (bio-digester, réchaud à biogaz...)	Matériaux de construction locaux. Accompagner les ménages à l'investissement et formation des bénéficiaires. Long terme : prévoir un suivi des ménages pour appropriation complète.	Pas de dépense supplémentaire	Besoin moyen : kit de distribution à renouveler (raccord, réchaud,...)	Impact assez fort : digesteur réalisé localement ; création d'emplois

Tableau 17 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères économiques

Critères Environnementaux

Critères Environnementaux	Fossile / renouvelable	Emission de GES	Compétition environnementale/énergétique
GPL	Non renouvelable	Haute (extraction du gaz, production et transport - importation. GES moyen à l'utilisation.	Peu de concurrence mais attention disponibilité du gaz sur le marché
Electricité	Majoritairement non renouvelable en milieu rural à Madagascar	Haute (production essentiellement à partir de centrales thermiques alimentées au pétrole - extraction, transformation, transport). Possibilité de développer l'hydro => moins d'émission de GES	Peu de concurrence mais attention disponibilité de l'électricité - besoin de délestage pour couvrir toutes les zones.
Foyer à bioéthanol	Energie renouvelable (attention conflit d'intérêt d'usage des terres agricoles)	Basse (énergie verte produite localement à partir de végétaux). Emission pour son transport + utilisation.	Concurrence d'usage des terres agricoles
Four solaire	Energie renouvelable	Très basse (sauf transport acheminement technologie)	Aucune concurrence mais besoin d'énergies alternatives si pas d'ensoleillement
Combustible biomasse	Energie renouvelable car briquettes fabriquées à partir de déchets (si pas de liants chimiques additionnels)	Basse (à la production). Emission pour son transport + utilisation	Concurrence d'usage éventuelle de certaines biomasses déjà utilisées
Biogaz	Energie renouvelable car biogaz produit à partir de déchets organiques	Très basse (énergie produite sur place, production de digestat comme engrais naturel)	Concurrence d'usage éventuelle de certaines biomasse déjà utilisées. Mais production de digestat (engrais).

Tableau 18 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères environnementaux

Critères Sociaux

Critères Sociaux	Décentralisée / Autonomie du ménage	Autonomie du pays / Indépendance à l'importation	Risques sanitaires	Risque d'accidents
GPL	Production non décentralisée (importation) ; autonomie dépendante du volume de la bouteille (approvisionnement externe requis)	Aucune autonomie/indépendance	Faible émission de CO + particules fines	Risque moyen : gaz explosif
Electricité	Energie non décentralisée ; aucune autonomie car dépendance du réseau (sauf si système de panneau autonome chez le ménage)	Autonomie/indépendance très faible (faible production nationale d'hydroélectricité)	Très faible émission de CO + particules fines	Risque moyen : électrocution
Foyer à bioéthanol	Production non décentralisée ; autonomie dépendante du volume de la bouteille (approvisionnement externe nécessaire)	Autonomie & indépendance (sauf importation acier/fer pour la fabrication du foyer)	Faible émission de CO+ particules fines	Risque faible : brûlure (combustion)
Four solaire	Energie décentralisée ; autonomie du ménage (mais dépendance à l'ensoleillement)	Autonomie selon climat & indépendance (fabrication locale)	Aucune émission de CO+ particules fines	Risque quasi nul
Combustible biomasse	Production non décentralisée (mais possibilité de décentraliser la production) ; autonomie dépendante du volume d'achat (approvisionnement externe nécessaire)	Autonomie & indépendance (sauf certains équipements d'investissement)	Emission moyenne de CO+ particules fines	Risque faible : brûlure (combustion)
Biogaz	Production décentralisée ; autonomie si aucune difficulté d'accès à la biomasse et l'eau	Autonomie & indépendance (sauf certains équipements d'investissement)	Faible émission de CO+ particules fines. Besoin de filtre pour limiter l'exposition au H2S	Risque faible à moyen (biogaz = gaz très léger)

Tableau 19 - Comparaison des énergies alternatives au bois-énergie – Critères sociaux

7.4 Liste des organismes et personnes interrogés

7.4.1 Acteurs biogaz

Organisme	Prénom Nom	Fonction	Contact
ARAFa	Armel Segretain	Directeur	armel.segretaind@gmail.com
ARAFa	Dominique	Chef de projet	installation.arafa@gmail.com
ASENSE	Ravel Vololonirina	Commerciale	vllnrna@gmail.com
ASENSE	Armin Krieger	Directeur	Armin.krieger@gmx.net
CARE	Solo Razafinjato	Urban WASH Programme Manager	Solo.Razafinjato@care.org
CICR	Jeremy Jousselin	Coordinateur Eau & Habitat	jjousselin@icrc.org
Clean Cooking Madagascar	Jessie Rinah	Program Quality Assurance Manager	jessie@madagascarethanolstoveprogram.org
CNRIT	Professeur Achille	Enseignant chercheur	achillegc@yahoo.fr
CODEGAZ	Christophe Mochel		cmochel@gmx.de
EAST	Jérémie	Représentant pays EAST	east.madagascar@gmail.com
FAFAFI Antsirabe	Guy Allain Rasitefanoelina	Directeur FAFIFI Antsirabe	guyallain@live.fr
FAFAFI Antsirabe	Jaona ANDRIANATOANDRO	Responsable technique biogaz	ajrsolo1@yahoo.fr
FAFAFI Fianarantsoa	Alfred RASAMIMANANA	Directeur FAFIFI Fianarantsoa	rasamy8redy@gmail.com
FAFAFI Fianarantsoa	Bodo RABEZANDRINA	Assistante administrative	fafafi_spaf_flm@yahoo.fr
FAFAFI Fianarantsoa	Harinaivo Rakotoarisoa	Technicien biogaz	harinaivo.rkt@gmail.com
FAFAFI Fort-Dauphin	Gabriel Tiaro	Directeur FAFIFI Fort Dauphin	fafafitale@gmail.com
FAFITO	Anten'Aina Rakotovao	Directeur FAFITO national	antenayna@yahoo.fr
GIZ	Justin RALAINIRINA		justin.ecodiana-giz@moov.mg
GRET	Fabbie RAZAFINDRABE	Chargée d'appui technique	razafindrabe.mg@gret.org
JIRO/Biogasy	Hélie Marchand	Directeur	heliem.marchand14@gmail.com
Loowatt	Armel Segretain	Process and Implementation Engineer	armel@loowatt.com
PATMAD	Bako ANDRIANIRINAH	Directrice PATMAD	bako.patmad@gmail.com

Ran'eau	Liana Rajaonary	Chargée de mission Réseau Ran'Eau	rajaonary@pseau.org
SAMVA	Jocelyne RATAHIRIVONY	Coordinatrice de projet	imsvmlf@gmail.com
Sistema.bio	Maxence Affre		max@sistemabiobolsa.com
Université de Tuléar	Daniel Ramampihrika	Enseignant, spécialiste biogaz	
WHH	Virginia Careri	Chef de projet PASSAT	Virginia.Careri@welthungerhilfe.de
WHH	Jocelyn RAVELOSON	Assistant Technique en Suivi et Evaluation	Jocelyn.Raveloson@welthungerhilfe.de
WSUP	Meva Rakotoson	Programme Officer	mRakotoson@wsup.com

7.4.2 Acteurs foyers améliorés à bois ou charbon de bois

Organisme	Prénom Nom	Fonction	Contact
ADES	Kerstin Guthler	Directrice nationale	kerstin.guethler@adesolaire.org
ADES	Axel Brueckmann	Chef de projet	axel.brueckmann@adesolaire.org
AgriSud	Ramarofidy M. Andriamirajo	Chef de Projet Itasy	frajo@agrisud.org
AZIMUT / CUITOU	Maryse Sahondra PARENT	Directrice générale	info@tous-azimuts.org
GIZ	Géraldine IHAVIMANANA		didinah.didi@gmail.com
GIZ Eco PAGE DIANA	Ravo ANDRIANIRINA	Spécialiste technique FA	ravo.ecodiana-giz@moov.mg
LLD	Hary RATSIFEHERA	Consultant spécialiste foyer amélioré	hary.ratsifehera@gmail.com
LLD	Robinary Andritiana Fanomezantsoa	Consultant spécialiste foyer amélioré	robinaritiana@gmail.com
Satsimami	Christian RAMAROJAONA	Directeur	satsimami@yahoo.fr
Planète Urgence	Edmond Andrianbelomanga	Directeur National	madagascar@planete-urgence.org
Tandavanala	Rinah Zo	Coordinateur du Programme Changement Climatique	rinahzo@tandavanala.org
Tandavanala	Manantsoa TIANA	Managing Director	manantsoa@tandavanala.org
WWF	Rina Andrianarivony		randrianarivony@wwf.panda.org

8 ANNEXES BIOGAZ

8.1 Principes de fonctionnement d'un réservoir biogaz(31)(30)

Cette Annexe présente les principaux aspects du processus de méthanisation.

Le processus biologique de méthanisation

La digestion anaérobie est la décomposition de la matière organique complexe par des bactéries dans un milieu sans oxygène. Cette digestion s'effectue en 4 étapes qui font chacune intervenir un groupe de bactéries particulières. Toute la matière non dégradée composera le digestat. Les phases de la digestion sont les suivantes.

Hydrolyse : les bactéries hydrolytiques décomposent la matière organique complexe (polymères) en chaîne plus basique (monomères). Cette étape est la plus lente du processus mais essentielle pour les phases suivantes car elle permet de rendre la matière absorbable pour la suite du processus.

Acidogénèse : la fermentation permet de transformer les monomères en acide gras volatils et alcools. Les bactéries acidogènes vont consommer le peu d'oxygène présent pour assurer un environnement propice pour les étapes suivantes. De l'ammoniac est également produit.

Acétogénèse : les acides gras volatils sont alors transformés en acide acétique, dihydrogène (H₂) et dioxyde de carbone (CO₂) par les bactéries acétogènes.

Méthanogénèse : les produits de l'acétogénèse sont minéralisés par des bactéries méthanogènes hydrogénophiles en biogaz composé de 54 à 70 % de méthane (CH₄), de 27 à 45 % de dioxyde de carbone (CO₂) et de quelques gaz résiduels (3 % maximum). Ces bactéries, qui ont une morphologie et des propriétés biologiques très diversifiées ont besoin d'un environnement anaérobie (sans oxygène) et sont très sensibles aux changements de l'environnement.

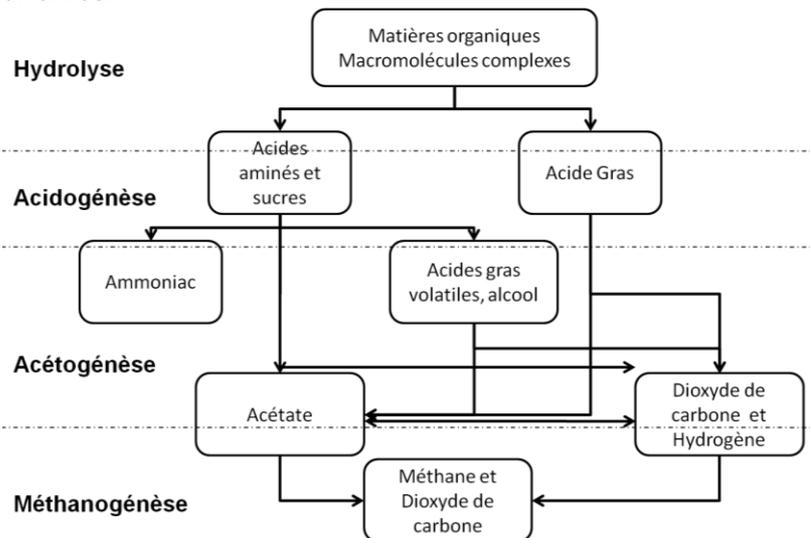


Figure 36 - schéma de principe du processus de méthanisation

Les paramètres physiques de la digestion anaérobie

L'équilibre de chaque étape et des différentes bactéries qui interviennent dans ce processus est essentiel à l'efficacité de la réaction qui est complexe et très sensible. C'est pour cela qu'il faut suivre plusieurs paramètres physiques pour optimiser la réaction.

La température

En théorie, le processus de digestion anaérobie peut être effectué sous toutes les conditions de températures extérieures. Bien qu'il soit préférable d'effectuer la réaction à des températures moyennes (températures mésophiles entre 20°C et 40°C) ou élevées (températures thermophiles, entre 40°C et 70°C), il est possible de le réaliser à de basses températures (températures psychrophiles, entre 3°C et 20°C) à condition d'installer un système de chauffage de la cuve ou d'augmenter le temps de rétention. Cependant, les investissements à réaliser pour que la réaction fonctionne à moins de 20°C impliquent que le système n'est plus viable économiquement. Le tableau ci-dessous présente les forces et faiblesses des températures mésophiles et thermophiles.

	Températures mésophiles	Températures thermophiles
Stabilité	+ les bactéries peuvent tolérer des variations de l'environnement un peu plus importantes (1°C/h)	- les bactéries sont plus sensibles aux variations de températures (0.5°C/h)
Rapidité de réaction et temps de rétention	- la réaction est plus lente et nécessite un temps de rétention plus important	+ la réaction rapide et le temps de rétention est moins important
Dégradation et rendement biogaz	- la dégradation du matériel est moins importante et le rendement est plus faible (pour un temps de rétention donné)	+ la dégradation est meilleure (taux supérieur à 50 %), rendement biogaz plus important
Inhibition à cause de l'ammoniac	+ l'ammoniac libre étant moins présent à basse température, la réaction est moins inhibée	- l'ammoniac libre étant plus présent à haute température, la réaction peut être plus inhibée
Température optimum	36 °C	55°C
Facilité d'opération et de maintenance	+ pas besoin de matériel additionnel (refroidissement, etc.), stabilité	- plus difficile à opérer (sensibilité importante) et à maintenir (matériel additionnel)

Tableau 20 - Températures de méthanisation

Ainsi, lorsque l'utilisateur ne possède pas de moyen financier important pour l'investissement (matériel de chauffage ou de refroidissement, outils de mesures, etc.) et de compétences particulières dans le domaine, il sera préférable d'installer des systèmes qui fonctionnent à des températures mésophiles. En effet, bien que le rendement et la dégradation soient moins intéressants en températures mésophiles, le processus est plus stable et requière moins de suivi. De manière générale, les variations de températures, comme celles entre le jour et la nuit ou entre les saisons, ne sont pas souhaitées car les bactéries y sont très sensibles. Ainsi, il est pertinent d'enterrer les cuves afin de minimiser ces variations grâce à la capacité « tampon » du sol qui permet d'avoir des températures relativement constantes.

Le pH

Le pH idéal pour que le processus de digestion anaérobie soit optimum est compris entre 6.5 et 8.5. Cela permet de minimiser les effets inhibiteurs.

Le temps de rétention hydraulique (HRT)

Le temps de rétention correspond au temps que doit passer la matière introduite dans le réservoir pour ressortir en digestat. Il se calcule assez simplement en divisant le volume du biodigesteur (V en m³) par la quantité de matière introduite par jour (Q en m³ par jour). Ainsi on a la formule suivante : $HRT = V/Q$.

Exemple :

Pour un réservoir de 10 m³, nous souhaitons que la matière introduite reste 40 jours en digestion. Combien devons-nous introduire de matière chaque jour ?

$$HRT = V/Q \Rightarrow Q = V/HRT = 10/40 = 0.25 \text{ m}^3/\text{jour}.$$

Ce paramètre est essentiel car selon les matières introduites dans le réservoir, la technologie installée ou la température de réaction, le temps de rétention n'est pas le même pour un rendement identique.

Le ratio C/N

Ce ratio C/N représente la relation entre la quantité de carbone (C) et celle de l'azote (N) dans le mélange. Ce ratio permet de juger de l'aptitude de la matière organique à se décomposer plus ou moins rapidement. Les bactéries présentes dans la solution consomment du carbone (C) pour leur constitution et pour l'énergie (le carbone est alors transformé en dioxyde de carbone - CO₂). De même, elles consomment l'azote (N) qui n'est utile qu'à leur constitution.

Dans un biodigesteur ce rapport se situe généralement entre 16 et 25 et est optimum à 20.

- C/N > 25 indique qu'il y a une grande consommation d'azote par les bactéries méthanogènes, qui résulte en une faible production de biogaz.
- C/N < 16 indique une accumulation d'azote qui implique un pH supérieur à 8.5 ce qui est alors toxique pour les bactéries méthanogènes.

Les inhibiteurs

Il existe plusieurs inhibiteurs à la digestion anaérobie comme l'oxygène (O₂), le sulfure d'hydrogène (H₂S), l'ammoniac (NH₃), les métaux lourds (Ni, Zn, etc.), les antibiotiques, les désinfectants, les herbicides ou insecticides. L'inhibition va dépendre de la concentration de l'inhibiteur dans le milieu, de la composition du milieu et de la capacité des bactéries à s'adapter à ce dernier.

Par exemple :

- L'excès de sulfure d'hydrogène (H₂S) produit par des bactéries (qui est également corrosif et toxique) peut limiter la production de biogaz ;
- L'excès d'ammoniac (NH₃) dû à un intrant trop riche en protéines entraîne une hausse du pH qui inhibe la réaction.

Pour éviter ces inhibiteurs et optimiser le rendement de la digestion anaérobie, il faut donc s'assurer de la qualité des intrants utilisés.

Initiation de la réaction

Lors du lancement du biodigesteur il doit être rempli avec un intrant comportant les bactéries nécessaires à la digestion anaérobie comme de la bouse de vache diluée avec de l'eau en quantité égale. Durant la phase de lancement, les bactéries doivent s'acclimater à la matière introduite dans le réservoir. Si cette dernière est différente de la bouse de vache utilisée pour le lancement, son remplissage doit se faire progressivement en augmentant chaque jour la quantité introduite. L'introduction d'une trop grande quantité de matière dégradables par rapport à la quantité de bactéries présentes dans le milieu ou un changement brusque des conditions de digestion (température de la matière introduite, quantité de matières toxiques, quantité de matière introduite, etc.) affecterait le processus. En effet, les bactéries acidogènes étant plus tolérantes aux variations du milieu que les bactéries méthanogènes, produiraient des acides qui acidifieraient le milieu et inhiberaient la méthanogénèse. Ainsi, l'initiation de la réaction pourrait échouer.

Enfin, le gaz produit pendant les premières semaines est principalement constitué de dioxyde de carbone (CO₂) qui n'est pas inflammable. Il faut donc s'assurer de le vider progressivement jusqu'à ce que la production de méthane (CH₄) soit suffisante (CH₄ > 45 % en volume).

Intrants

La quantité et la nature des intrants utilisés ont une grande influence sur l'efficacité de la digestion. En effet, tous les déchets ne peuvent pas constituer un gisement pour la méthanisation. Il ne faut par exemple pas introduire de matières inorganiques ou inertes qui ne pourront pas être digérées et donc perturberont le processus de digestion ou de substances dangereuses (métaux lourds, antibiotiques, détergents, etc.) qui pourraient détruire les bactéries et nuire à la qualité du digestat.

De nombreuses études ont été menées et ont permis de déterminer le pouvoir méthanogène des différents intrants possibles. Il s'agit en fait d'exprimer le rendement de la production de biogaz (m³ de biogaz produit) selon une même quantité de matière introduite (une tonne).

Le graphique ci-contre présente donc le pouvoir méthanogène des intrants par catégorie : déjections animales, résidus de culture, déchets d'industries agroalimentaires ou de collectivités. De nombreux tests sont encore réalisés dans différentes régions du monde sur les proportions d'intrants les plus performantes selon les conditions climatiques, les modèles de réservoirs, etc. afin d'optimiser la réaction et assurer une meilleure viabilité des installations. Il s'agit donc de :

- Obtenir une plus grande quantité de biogaz et de meilleure qualité ;
- Avoir un digestat de qualité (sans pathogène, avec un ratio C/N optimal, etc.) ;
- Augmenter la capacité de traitement des intrants (la rapidité de digestion).

La nature des intrants utilisés va donc influencer la qualité et la quantité des deux extrants obtenus par leur traitement via la réaction anaérobie que sont le biogaz et le digestat.

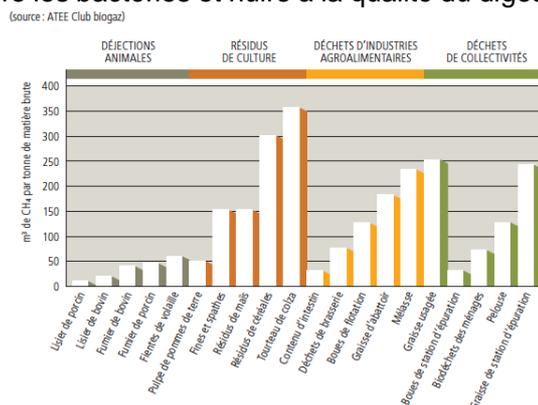


Figure 37 - Pouvoir méthanogène des intrants

8.2 Modèles de biodigesteurs existants(64)(30)

Dans cette partie nous ne détaillerons que les modèles de biodigesteurs domestiques, sans distinguer leur mode de remplissage (continu ou discontinu). Nous ne présentons également aucune technologie qui intègre un système de mélange ou de chauffage de la cuve permettant d'accélérer la réaction.

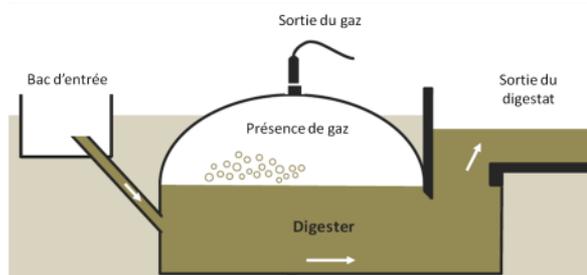
Les modèles maçonnés

Parmi les modèles de réservoirs maçonnés, on distingue ceux qui ont un dôme fixe, en bêche flexible ou flottant.

La plupart du temps, ces biodigesteurs sont enterrés ou semi-enterrés pour limiter les variations de température dans la cuve. La cuve est constituée de briques (argile cuite ou parpaing) qui est bétonnée et étanchéifiée. Un bac d'entrée permet de mélanger et d'introduire les matières premières et un bac de sortie permet de récupérer le digestat produit. Le gaz est stocké dans la cuve principale au-dessus du substrat (dôme).

Maçonnés à dôme fixe solide

Dans le cas du modèle maçonné à dôme fixe, le dôme peut être construit en briques ou bétonné à l'aide d'un moule. Dans les deux cas, le biogaz est donc stocké dans ce dôme et exerce alors une pression sur le mélange qui est « poussé » vers le bac de sortie (niveau de la matière différente dans la cuve et dans le bac de sortie selon la quantité de biogaz produite). Ces modèles disposent généralement d'une base plate ou concave de forme ronde. Cette technologie est la plus répandue en Asie et a une durée de vie estimée entre 25 et 50 ans. Il nécessite une main d'œuvre qualifiée pour sa construction. Les volumes de ces biodigesteurs sont généralement de 6 à 30 m³.



Avantages	Inconvénients
Longue durée de vie (25-50ans), matériaux souvent disponibles localement (ciment, briques, sable, gravier), peu de maintenance (absence de corrosion), enterré => peu de dommages dus aux intempéries extérieures, etc.), peu d'influence liée à la variation de température extérieure, création d'emplois spécifiques (maçons, techniciens), faible risque de fuites (si construction étanche).	Coûts de construction relativement élevés, besoin de personnels, comme le maçon ou la main d'œuvre qualifiés (technicité de construction), vidange peut être difficile (réservoir à dôme fixe enterré).

Tableau 21 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur maçonné à dôme fixe

Maçonnés à dôme fixe en bêche flexible

Ce modèle, très proche du modèle à dôme fixe possède un gazomètre en bêche flexible accrochée à la structure maçonnée. Le volume de la bêche flexible varie en fonction de la quantité de biogaz produite par l'installation. La partie inférieure maçonnée peut être enterrée ou semi-enterrée tandis que le dôme est au-dessus du niveau du sol. Le niveau de la matière est la même dans la cuve que dans le bac de sortie car la pression du biogaz produite s'applique sur la bêche (volume flexible).



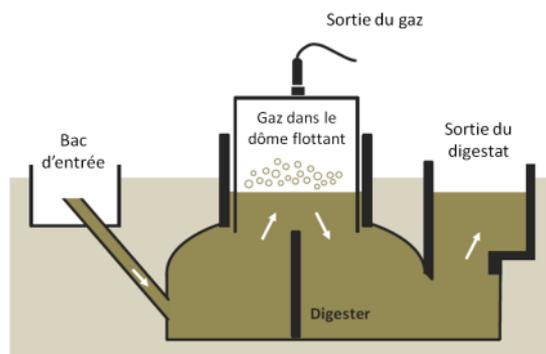
Avantages	Inconvénients
Matériaux de la base disponibles localement (ciment, briques, sable, gravier), coûts de construction moyen, construction en maçonnerie assez classique (technicité moyenne), vidange assez facile (bêche démontable, bassin de sortie relié à la cuve principale).	Risque de fuites à terme (selon qualité de la bêche), durée de vie dépendante de la durabilité de la bêche, bêche importée, maintenance régulière (entretien de la bêche), performance dépendante de la température extérieure.

Tableau 22 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur maçonné à dôme fixe en bêche flexible

Maçonnés à dôme flottant (*floating drum*)

Dans le cas du dôme flottant, le dôme a un volume constant mais monte ou descend selon la quantité de biogaz produite. Le gazomètre peut être en cloche plastique, en métal ou en bâche non flexible. Ainsi, contrairement au modèle maçonné à dôme fixe, le dôme n'est pas solidaire de la cuve. Le gaz produit est stocké dans le dôme flottant et le fait monter par augmentation de la quantité de biogaz, ce qui permet d'avoir une connaissance approximative à l'œil de la quantité de biogaz présente dans le réservoir.

Ainsi, le niveau de la matière dans la cuve et dans le bac de sortie est le même car la pression est appliquée sur le dôme flottant. Ce modèle a généralement une base plate de forme ronde. Les volumes sont souvent compris entre 4 et 50 m³.



Avantages	Inconvénients
Matériaux disponibles localement (ciment, briques, sable, gravier, dôme métallique ou en bâche de camion, etc.), coûts de construction moyen (selon matériaux utilisés), construction en maçonnerie assez classique, performance relativement indépendante de la température extérieure (si enterré), vidange assez facile (dôme démontable, bassin de sortie relié à la cuve principale).	Technicité pour la fabrication du dôme flottant, risque de fuites à terme (selon qualité du dôme), durée de vie dépendante de la durabilité des matériaux utilisés pour le dôme flottant (corrosion, etc.), maintenance régulière (entretien du dôme – peinture anticorrosive si métal, protection des UV si bâche).

Tableau 23 - Avantages et inconvénients d'un biodigérateur maçonné à dôme flottant

Les modèles non maçonnés

On distingue ici trois modèles de digesteur. Le premier est en fibre de verre, le deuxième en PVC solide et le troisième en plastique souple (bâche).

Fibre de verre (*Fiber glass*)

Le modèle en fibre de verre ressemble grandement au modèle maçonné à dôme fixe excepté qu'il est entièrement en fibre de verre. Ce dernier est enterré et le substrat et le biogaz sont stockés dans la cuve principale. La pression du biogaz produit fait « sortir » le digestat dans le bac de sortie. Il est assemblé sur place (partie haute et partie basse, cf. photo ci-contre) ce qui réduit considérablement la main d'œuvre nécessaire à son installation et la durée de construction. En revanche, les matières premières ne sont pas toujours disponibles localement et la fabrication de la cuve demande une usine de production spécifique (la Chine est le principal fournisseur mondial de ce type de digesteur). Dans les pays asiatiques, il est donc relativement simple de se fournir mais il faut être vigilant aux conditions de transports et à l'origine du matériel qui peut être de qualité médiocre. La durée de vie est généralement d'une dizaine d'année et la maintenance demandée est proche de celle d'un biodigérateur maçonné à dôme fixe bétonné. Les volumes de ces biodigesteurs sont généralement de 4 à 30 m³.



La durée de vie est généralement d'une dizaine d'année et la maintenance demandée est proche de celle d'un biodigérateur maçonné à dôme fixe bétonné.

Les volumes de ces biodigesteurs sont généralement de 4 à 30 m³.

Avantages	Inconvénients
Coûts de production dans les pays asiatiques (pas d'usine recensée en Afrique), technicité d'installation faible, performance relativement indépendante de la température extérieure (si enterré), technologie mobile/déplaçable,	Matériaux rarement disponibles localement (fibre de verre) et usine de production nécessaire ou importation, coût d'importation souvent élevé, transport peut être difficile, vidange complète pouvant être difficile (si enterré).

durée de vie d'environ 10 ans, entretien et maintenance de base relativement simple.
--

Tableau 24 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur en fibre de verre

Plastic tank

Le *plastic tank*, construit en PVC (plastique rigide) et installé hors sol est composé de deux *tanks* (un pour le stockage du substrat et un pour le biogaz) comme pour les modèles de biodigesteurs maçonnés à dôme flottant. Les volumes traités sont moins importants que les modèles précédents (autour de 2 m³) et les biodigesteurs sont donc facilement transportables.

En revanche, ces modèles sont relativement fragiles mais très simples à installer. Ils ne nécessitent pas de grands investissements et sont relativement simples à entretenir.

Système à dôme flottant



Peu de gaz

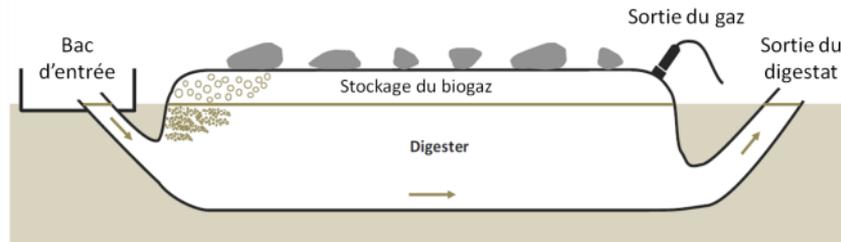
Production de gaz

Avantages	Inconvénients
Coûts de production faible, matériaux localement disponible (matériaux de récupération), technicité d'installation très faible, technologie mobile/déplaçable, vidange complète très facile	Durée de vie faible, maintenance régulière, performance très dépendante de la température extérieure.

Tableau 25 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur en plastic tank

Les modèles flexibles (bag)

Les modèles de biodigesteurs flexibles sont entièrement en plastique souple (polyéthylène, PVC) et le plus souvent tubulaires. Le tube permet de stocker le substrat ainsi que le biogaz.



Le coût de ces réservoirs est relativement faible dû à l'utilisation d'une matière première à faible coût et d'un besoin réduit en main d'œuvre pour son installation. Il est facilement transportable et simple à maintenir.

Cependant, le tube peut être facilement abimé notamment par les rayons UV (il doit donc en être protégé) ou des intempéries extérieures de par sa fragilité. Ainsi sa durée de vie est relativement faible (2 à 8 ans). Le matériel à utiliser pour sa construction n'est pas toujours disponible localement et nécessite donc de l'importation.

Avantages	Inconvénients
Coûts de production faible, technicité d'installation faible, technologie déplaçable.	Matériaux rarement disponibles localement (flexible) et usine de production nécessaire ou importation, vidange complète pouvant être difficile (installation à démonter), maintenance assez importante (selon solidité de l'installation et du raccordement), performance relativement dépendante de la température extérieure (bâche en contact direct avec l'air extérieur) durée de vie relativement faible due à la fragilité de la bâche.

Tableau 26 - Avantages et inconvénients d'un biodigesteur flexible (bag)

8.3 Les impacts macro-économiques de la technologie biogaz(39)

Le déploiement d'un projet biogaz et la mise en place d'une filière a des impacts positifs sur l'économie au niveau macro. Il permet :

- La réduction des dépenses

- Au niveau sanitaire - moins de maladies respiratoires et oculaires à cause de la consommation de bois-énergie et gastriques par la réduction de la pollution des eaux et l'amélioration des conditions sanitaires en cas de connexion de latrines ;
- Au niveau des importations d'énergie fossile utilisée pour la cuisson et l'éclairage (essentiellement pétrole et GPL) et d'engrais chimiques ;
- Au niveau des infrastructures pour l'accès à l'énergie des zones rurales enclavées ;
- Au niveau des infrastructures des villes à cause de l'exode rural et aux mauvaises conditions de vie des ménages ruraux ;
- Au niveau des gains liés à la conservation de l'environnement (réduction de l'utilisation du bois-énergie) par l'estimation de la valeur économique de la préservation de la biodiversité, la réduction des émissions de GES, etc. et l'amélioration de la qualité des sols.
- La création d'une dynamique économique par
 - Le renforcement des compétences locales (formations de maçons pour la construction et la maintenance des biodigesteurs, formation des ménages bénéficiaires à l'utilisation du biogaz et du digestat, etc.) ;
 - La création d'emplois (emplois directs - renforcement des capacités de l'opérateur biogaz local, recrutement de maçons, etc. et indirects – producteurs de briques, matériaux de construction, etc.) ;
 - L'augmentation des rendements des cultures des ménages bénéficiaires qui crée une valeur économique et réduit les risques d'augmentation des prix due à des pénuries ;
 - L'amélioration des conditions de vie des ménages ruraux qui participent davantage à la dynamique économique.

Il faut cependant faire attention aux impacts néfastes du déploiement à grande échelle de cette technologie puisqu'elle peut également impacter négativement l'économie, en réduisant par exemple les revenus de la filière charbon (producteurs, transporteurs, revendeurs et gouvernement via les taxes). Il faudra donc penser son développement dans une dynamique économique globale du pays.

8.4 Biodigesteurs recensés à Madagascar

Les données fournies dans le tableau ci-dessous sont celles collectées auprès des opérateurs et projets interrogés dans le cadre de cette étude. Le nombre d'installations et la fonctionnalité des biodigesteurs n'ont pas pu être vérifiés sur le terrain.

Régions	Opérateurs / Projets	Type de biodigesteurs	Inst. fonctionnelles
Amoron'i Mania	ASENSE	Domestique	0 sur 1
Analamanga	ASENSE	Domestique	8 à 20 sur 25
	GRET	Traitement	4 sur 4
	CICR	Traitement	2 sur 2
	CNRIT	Cantine	1 sur 1
	EAST	Traitement	2 sur 2
	Loowatt	Traitement	1 sur 1
	WSUP / CARE	Traitement	1 sur 1
Androy	CNRIT	Traitement	0 sur 1
Anosy	FAFAFI Fort-Dauphin	Domestique	24 sur 26
Antsinanana	ASENSE	Domestique	0 à 3 sur 5
	CNRIT	Traitement	0 sur 1
Atsimo-Andrefana	WHH	Traitement	1 sur 1
Boeny	ASENSE	Domestique	0 à 1 sur 2
Bongolava	CNRIT	Domestique	0 sur 4
DIANA	ASENSE (GIZ)	Domestique	3 sur 3
Haute-Matsiatra	FAFAFI Fianarantsoa	Domestique	171 sur 171
	JIRO / Biogasy	Domestique	27 sur 27
	ASENSE	Domestique	1 à 2 sur 4
Itasy	FAFAFI Fianarantsoa	Domestique	8 sur 8
	ASENSE	Domestique	1 à 2 sur 4
	CNRIT	Domestique	0 sur 1
SAVA	ASENSE	Domestique	3 sur 3
Vakinankaratra	FAFAFI Antsirabe	Domestique	84 sur 87
	ASENSE	Domestique	2 sur 3
	CNRIT	Domestique	3 sur 3
Vatovy-Fitovinany	ASENSE	Domestique	0 à 2 sur 2

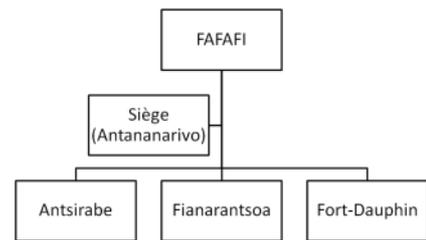
Tableau 27 - Liste des biodigesteurs installés à Madagascar

8.5 Description détaillée des opérateurs biogaz

8.5.1 FAFAFI

Présentation générale

FAFAFI (Fanentanana Fambolena Fiompiana qui signifie Animation Agriculture Elevage) est une ONG (association confessionnelle) créée en 1989 qui œuvre essentiellement dans les domaines de l'agriculture, l'élevage et l'environnement. FAFAFI dispose de 3 entités relativement indépendantes dans le déploiement de leurs activités qui sont situées à Antsirabe, Fianarantsoa et Fort-Dauphin. Le siège est à Antananarivo.



En conséquence chacune des entités dispose d'une équipe de terrain locale généralement constituée d'un Directeur, d'un responsable ou assistant administratif et financier, d'un responsable technique et de techniciens polyvalents chargés de suivre et d'appuyer les paysans sur tous les projets menés par l'entité.

L'objectif de l'ONG est d'« appuyer les paysans pour promouvoir un développement durable basé sur l'exploitation rationnelle des ressources naturelles et potentialités locales et visant la sécurisation alimentaire et socio-économique ». L'association souhaite mettre en place des solutions alternatives pour préserver l'environnement et sensibiliser la population à sa protection. Jusqu'à maintenant, les activités de l'association ont été majoritairement financées par la Fédération Luthérienne Mondiale, la Société de la Mission Norvégienne et CODEGAZ pour l'entité de Fianarantsoa. A ce jour, FAFAFI est l'opérateur qui a installé le plus de biodigesteurs domestiques à Madagascar, puisque 292 ménages (87 par l'entité d'Antsirabe, 179 par celle de Fianarantsoa et 26 par celle de Fort-Dauphin) ont été équipés depuis 2012.

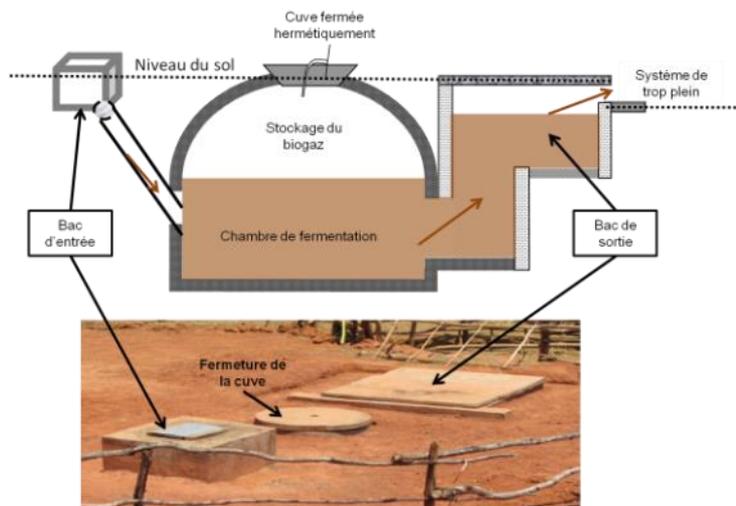
Bref historique biogaz de FAFAFI

Au milieu des années 2000, FAFAFI avait lancé un projet de diffusion de biodigesteur flexible *low-cost* en bâche plastique. Malheureusement, à cause de la qualité trop faible du matériel fourni, les 50 unités installées ont été fonctionnelles 30 mois maximum et ne sont plus fonctionnelles.

En 2012, Amity Foundation³⁵, une fondation chinoise, propose à FAFAFI de former ses techniciens à la construction et la maintenance d'un modèle de biodigesteur durant 7 semaines en Chine. Depuis Novembre 2012, l'association promeut et installe des biodigesteurs de type chinois (maçonné à dôme fixe) à Madagascar.

Le modèle de biodigesteur proposé par FAFAFI

FAFAFI propose des biodigesteurs maçonnés à dôme fixe bétonnés de 10 m³ ou 30 m³. Ces biodigesteurs sont entièrement enterrés et disposent d'un bac de remplissage, d'une cuve centrale (chambre de fermentation et stockage du biogaz), d'un bac de sortie du digestat et d'un système de trop plein permettant l'évacuation du digestat lors de la production de biogaz. Le biodigesteur de 10 m³ possède une capacité de stockage du biogaz d'environ 4 m³ et de digestat (bac de sortie) de 2 m³. Les intrants recommandés de 60 L de bouses et 90 L d'eau par semaine (soit en moyenne 8 L de bouses pour 13 L d'eau par jour) permettent de produire en moyenne 1,3 m³ de biogaz par jour. Une surface de 7 x 4 = 28 m² est nécessaire pour son installation.



³⁵<http://www.amityfoundation.org/eng/>

La construction, mise en route et entretien des biodigesteurs FAFAFI

Construction

Les biodigesteurs proposés par FAFAFI sont construits à l'aide d'un moule fabriqué localement qui permet de couler le béton de la voute de la cuve.

Ce moule, fabriqué à partir de tôles, de fer plat, de barres à mines et de fer rond, est utilisé pour la construction de plusieurs réservoirs. Il doit donc être démonté, plié puis transporté sur les sites d'installation. Pour chaque installation, ce dernier sera mobilisé 2 à 4 jours le temps de séchage du béton. Ce dernier doit être régulièrement révisé pendant la campagne de construction pour vérifier sa courbure et les jointures afin d'assurer le maintien de la forme du moule. Le moule est graissé à chaque fin de campagne de construction et non pendant les constructions (la graisse étant un produit qui inhibe la multiplication des microorganismes méthanogènes).



Les matériaux principaux nécessaires à la construction d'un réservoir FAFAFI sont du sable, du gravier et du ciment pour le béton, des briques pour la maçonnerie, d'imperméabilisant et de fer rond.

Pour réaliser un biodigester, deux maçons qualifiés et 4 mains d'œuvres non qualifiées doivent travailler en permanence entre 7 et 14 jours (selon l'organisation du chantier et le temps de séchage du béton). Durant certaines étapes, comme le coulage du béton, l'intervention d'une quinzaine de personnes est nécessaire.

Les étapes principales de construction du modèle de biodigester proposé par FAFAFI sont :

- La préparation du chantier : repérer et marquer le sol, creuser les fosses (cuve centrale et bacs d'entrée et de sortie) ;
- Construction de la cuve (dôme fixe) par la pose du moule, coulage de béton, séchage et décoffrage ;
- Bétonnage du fond de la cuve centrale et des bacs d'entrée et de sortie ;
- Finalisation par enduit, séchage ;
- Remplissage du réservoir et tests d'étanchéité (décrit ci-dessous) ;
- Fermeture hermétique de la cuve par la pose d'un « chapeau » en béton et collage hermétique avec un mélange d'argile et de ciment.

Mise en route

La mise en route, réalisée après le séchage de l'enduit et avant la fermeture hermétique de la cuve peut s'effectuer sur quelques jours voire quelques semaines. Le bénéficiaire doit réaliser les activités décrites ci-dessous.

1. Remplissage d'eau – le bénéficiaire doit réunir la quantité d'eau nécessaire pour le lancement de la réaction (entre 3 et 4 tonnes, soit entre 3000 et 4000 Litres) et remplir le réservoir avec la totalité de cette eau.
2. L'eau seule est laissée quelque jour et le niveau d'eau suivi afin de vérifier l'étanchéité de la construction ;
3. Introduction des bouses – le bénéficiaire doit ensuite ajouter les bouses (au total entre 2 m³ et 3 m³) au fur et à mesure de la collecte. FAFAFI ne recommande pas que les bouses soient pré-collectées et stockées plus d'une semaine car le séchage de ces dernières implique une trop grande perte de leur pouvoir méthanogène. Ainsi le remplissage peut prendre plusieurs jours ou semaines selon la quantité de bouses que le bénéficiaire peut collecter (le plus rapide étant le mieux). Pour diluer ces bouses lors de leur introduction dans le réservoir, le bénéficiaire doit récupérer l'eau déjà introduite initialement dans le réservoir par le trop plein durant tout le processus de lancement.
4. Refermer le réservoir : une fois que la quantité de bouse indiquée est introduite dans le réservoir, ce dernier peut être fermé hermétiquement.
5. Remplissage régulier : le bénéficiaire doit continuer d'introduire les quantités d'intrants indiquées par FAFAFI (environ 20 L de bouses pour 40 L d'eau tous les trois jours –

quantité adaptable selon le besoin en biogaz des ménages) et surveiller que la réaction est correctement initiée.

Tout ce processus de lancement est suivi par les techniciens de FAFAFI afin d'assurer la formation des bénéficiaires ainsi que la bonne initiation de la réaction.

Entretien et maintenance

Une vidange partielle (retrait d'une partie de la phase liquide et semi-liquide) peut être effectuée régulièrement par le bac de sortie afin d'augmenter le volume disponible dans la cuve pour le gaz et éviter le surplus d'eau en cas de pluie et utiliser le digestat si besoin.

Pour vidanger ou effectuer des activités de maintenance à l'intérieur du réservoir (recommandé tous les 3 ans), le bénéficiaire devra obligatoirement retirer le chapeau de la cuve qui a été hermétiquement fermée pour s'introduire dans la cuve et réaliser la vidange complète ou la maintenance (vérification de l'étanchéité, enduit, etc.). Il devra s'assurer d'avoir correctement vidé tout le biogaz avant l'ouverture de la cuve. Par la suite, il devra mener toutes les activités décrites ci-dessus pour remettre en route le biodigesteur.

Un décanteur est accessible à proximité de la cuve via une petite ouverture. Elle doit être vérifiée lorsqu'il y a des défauts d'arrivée du biogaz au niveau des terminaux ou de forte fluctuation du manomètre.

Lorsqu'une qu'il y a un problème, le ménage doit s'adresser dans un premier temps au technicien formé parmi les bénéficiaires de sa zone pour les réparations de base puis peut contacter FAFAFI ponctuellement en cas de problème majeur. Concernant les pièces de rechange, elles sont disponibles auprès de FAFAFI qui peut choisir de les remplacer gratuitement ou de les facturer au bénéficiaire selon les conditions d'endommagement.

Les terminaux et autres matériels proposés par FAFAFI

Les ménages bénéficiaires reçoivent systématiquement un ricecooker (cuisson de riz très apprécié des ménages), un double brûleur (utilisé pour la cuisson des accompagnements du riz), 4 lampes et un manomètre (permettant de connaître la pression à l'intérieur de la cuve et donc la quantité de gaz restante). Aujourd'hui FAFAFI achète ses terminaux auprès de ASENSE, (opérateur de biogaz à Madagascar présenté ci-dessous), qui se charge de les importer en provenance de Chine. A terme, les entités de FAFAFI souhaitent pouvoir importer leur matériel directement.



Les connexions biogaz sont réalisées à l'aide de tuyaux rigides en polyéthylène souvent enterrés et fixés au mur.

Lorsqu'ils ne sont pas enterrés, les tuyaux sont enveloppés dans du PVC pour éviter d'être exposés aux agressions extérieures (soleil, pluie, vent, chocs, etc.). Devant chaque terminal, des vannes de sécurité sont installées et doivent être ouvertes et fermées avant et après chaque utilisation.

Valorisation du biogaz et du digestat

Le biogaz est valorisé par l'utilisation des terminaux de cuisson (*ricecooker* et double brûleur) ainsi que celle des lampes à biogaz systématiquement distribués par FAFAFI.

Concernant le digestat, FAFAFI ne procure pas de formation à proprement parler concernant sa valorisation. L'organisation favorise son utilisation directe par épandage et essaye de recueillir un maximum d'information de la part des bénéficiaires pour effectuer un retour d'expériences mais ne réalise pas d'analyses ou de tests particuliers. Les bénéficiaires choisissent donc par eux-mêmes de l'utilisation qu'ils font du digestat. Certains l'épandent directement, d'autre le compostent ou le font sécher. A priori, les paysans sont très satisfaits et notent une amélioration des rendements et un éloignement effectif des ravageurs.



Mode de diffusion des biodigesteurs

FAFAFI est un « opérateur » biogaz dans le sens où l'organisation dispose du savoir-faire et de la main d'œuvre pour construire des biodigesteurs. Par ailleurs, l'ONG est également un « projet » dans le sens de l'étude puisqu'elle finance et mène des projets d'installation de biodigesteurs auprès de ménages ruraux.

Sélection des bénéficiaires

Les potentiels bénéficiaires biogaz sont identifiés parmi les bénéficiaires d'autres projets menés par FAFAFI (agriculture ou élevage) ou dans les zones de ces projets. Pour bénéficier d'un réservoir ils doivent répondre à des critères préétablis par l'organisation obligatoires et optionnels comme décrits ci-dessous.

Critères éliminatoires

- avoir au moins 2 bovins parqués en permanence ou 4 bovins parqués de nuit
- avoir un accès à l'eau toute l'année à proximité
- disposer d'un espace suffisant pour construire le réservoir et être propriétaire
- montrer un réel engagement au maintien et à l'utilisation du bio-digesteur
- être en mesure de collecter l'apport en nature demandé par le projet

Critères optionnels

- être plus de 5 habitants et avoir des enfants scolarisés dans le ménage
- avoir un niveau de vie moyen (ni trop faible, ni trop élevé)
- être exemplaire dans la gestion de son ménage, sa relation aux autres, etc.
- être dans un village où des bio-digesteurs dans FAFAFI sont déjà installés
- Etc.

FAFAFI essaye autant que possible d'organiser des visites de biodigesteurs fonctionnels et de chantier de construction de digesteurs par les futurs ménages bénéficiaires afin qu'ils prennent la mesure de l'engagement nécessaire à la construction et l'utilisation d'un réservoir. Cette étape permet de mesurer leur motivation et engagement à recevoir un biodigesteur.

Financement des biodigesteurs

FAFAFI prévoit que les ménages financent près de 20-25 % du coût total du biodigesteur au travers d'un apport en nature. En effet, pour bénéficier du réservoir, les bénéficiaires doivent collecter ou acheter le sable, le gravier et les briques en argile cuites nécessaires à la construction d'un biodigesteur. Par ailleurs, ils doivent préparer la fosse et mettre à disposition de la main d'œuvre pendant les travaux. Enfin, ils sont responsables du remplissage du réservoir et donc de la collecte de l'eau et des bouses nécessaires à l'initialisation de la réaction. Aucun apport financier supplémentaire n'est demandé aux ménages bénéficiaires à ce jour.

Les 75-80 % restant sont entièrement assurés par le projet et donc par les subventions obtenues du Gouvernement Norvégien via la Société de la Mission Norvégienne, de la Fédération Luthérienne Mondiale ou de CODEGAZ pour Fianarantsoa.

FAFAFI envisage d'obtenir une accréditation carbone afin de réduire les financements extérieurs et essayer de pérenniser son activité de construction de biodigesteurs à Madagascar. L'ONG est en cours de discussion avec l'entreprise Green Development.

Formation des bénéficiaires

Les ménages sélectionnés reçoivent une formation via plusieurs canaux.

- Les bénéficiaires participent à l'installation des biodigesteur. Ainsi durant les phases de construction et de mise en route, FAFAFI les forme à la maintenance et l'utilisation. Suite au lancement de la réaction, le bénéficiaire sera formé à l'utilisation des terminaux.
- Des réunions fréquentes organisées avec tous les utilisateurs d'une zone (et initialement avec des techniciens FAFAFI) permettent aux bénéficiaires de cette zone d'échanger sur leur utilisation du réservoir, les problèmes rencontrés et solutions apportées, etc. Il s'agit alors d'une formation par les pairs pouvant aboutir à la mise en place de réseaux d'échange.

Accompagnement et suivi

Parmi les bénéficiaires de chaque zone, un technicien de zone aura été formé « en profondeur » par FAFAFI et sera chargé de suivre les autres bénéficiaires de sa zone. En cas de problème plus « grave », le technicien de zone a la possibilité de joindre FAFAFI qui peut se déplacer pour assurer une maintenance ou une formation de manière ponctuelle.

En dehors de ces appels ponctuels, les techniciens de l'organisme profitent de leur déplacement dans les villages dans lesquels FAFAFI réalisent des projets d'autres natures (agricole, élevage) pour réaliser des visites aux ménages bénéficiaires de biogaz. En revanche, FAFAFI ne dispose d'aucun budget pour le suivi des bénéficiaires et ne réalise donc pas de suivi régulier particulier des bénéficiaires.

Bilan des installations réalisées à Madagascar

Les installations réalisées par année

Entité	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL	2018 (prévision)
Antsirabe	3	4	77	3	0	0	87	
Fianarantsoa	4	13	86	18	33	25	179	25
Fort-Dauphin	0	0	03	15	08	0	26	
TOTAL	7	17	166	36	41	25	292	

Fonctionnalités des installations

Entité	Fonctionnelles	Non fonctionnelles	TOTAL
Antsirabe	84	3	87
Fianarantsoa	179	0	179
Fort-Dauphin	25	1	26

Les perspectives

Actuellement, les entités d'Antsirabe et de Fort-Dauphin ne réalisent plus de constructions par manque de financement. L'entité de Fianarantsoa, financé par CODEGAZ prévoit la construction de 20 à 40 nouvelles constructions d'ici la fin 2018.

L'organisme souhaite développer son activité à l'aide des crédits carbone et continuer ses recherches de financement pour continuer le déploiement de sa technologie.

8.5.2 ASENSE

Présentation générale

ASENSE est une entreprise (SARL) créée en 2012 qui propose des solutions d'énergie renouvelable. L'entreprise commercialise des installations solaires, hydroélectriques, éoliennes et des biodigesteurs auprès de particuliers ou d'ONG qui souhaitent déployer des projets d'énergie renouvelable. Elle travaille à Madagascar, à Maurice et au Comores.

A Madagascar, l'entreprise dispose d'un magasin dans le box 502 du Suprême Center à Antananarivo et de 9 employés permanents (3 personnes en charge de la gestion et des aspects administratifs et financiers, 3 personnes responsables des aspects commerciaux et logistiques, 3 techniciens responsables des installations et suivis techniques des systèmes) et fait ponctuellement appel à des stagiaires, partenaires ou techniciens supplémentaires en cas de besoin.

L'entreprise est autofinancée et n'a pas recours à des subventions.

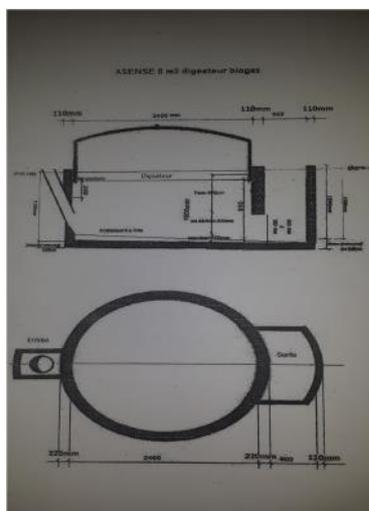
Bref historique biogaz

ASENSE a initialement été formée par l'entreprise chinoise Chengdu Datangren Biogaz Technology Development Co. Des ingénieurs et techniciens de l'entreprise chinoise ont réalisé une étude de faisabilité biogaz à Madagascar durant 2 ans. Des installations ont été réalisées à titre gratuit pour certaines organisations et particuliers afin d'évaluer l'appropriation de la technologie et de connaître les problèmes majeurs rencontrés dans le contexte local. Suite à cela, ces derniers ont formé l'équipe d'AENSE qui importe maintenant le matériel de Chine et commercialise les biodigesteurs, réalise les installations et forme les clients à la bonne utilisation et maintenance des réservoirs et terminaux. Aujourd'hui l'entreprise travaille également avec d'autres fournisseurs afin de proposer différents rapport qualité – prix.

Depuis le lancement de cette activité biogaz, l'entreprise a installé plus de 73 biodigesteurs dans de nombreuses régions de Madagascar (dont 25 dans la région d'Antananarivo) pour une utilisation domestique (financés par des particuliers ou des ONG pour des ménages ruraux) ou pour le traitement de boues de latrines (financés par des projets).

Le modèle de biodigesteur

AENSE propose des biodigesteurs maçonnés à dôme fixe en bache. Actuellement, l'entreprise ne propose qu'un modèle de 8 m³ (qui peut être mis en série pour le traitement d'un volume plus important) et est en train de développer un modèle de 20 m³. Le biodigesteur est semi enterré et nécessite une surface de 16 m² pour son installation. Le biodigesteur est composé d'une cuve centrale de 4,3 m³, d'un bac d'entrée et d'un bac de sortie du digestat de 0,6 m³. Le biodigesteur possède une capacité de stockage du biogaz entre 3 et 5 m³ principalement dans la bache. Les intrants quotidiens recommandés (10 kg de bouses pour 10 L d'eau) permettent de produire en moyenne 1 m³ de biogaz par jour.



La construction, mise en route et entretien des biodigesteurs

Construction

La biodigesteur ASENSE se construit en 5 jours à l'aide de 2 maçons spécialistes et 3 mains d'œuvre non qualifiées. La construction de la cuve principale nécessite l'utilisation de sable, gravier, briques en argile cuites, ciment, fer rond et imperméabilisant. Après la préparation du chantier (repérage des surfaces et marquage des profondeurs à creuser), les fosses (cuve principale, bacs d'entrée et de sortie) sont creusées, vérifiées et ajustées (1 jour ou 2 selon le nombre de mains d'œuvre). L'étape de maçonnerie, qui dure environ 2 jours, consiste en le coulage du béton pour le fond de la cuve, la pose des briques (et des fers rond si nécessaire) et le coulage du béton. Le tuyau en PVC qui relie le bac d'entrée à la cuve pour l'acheminement du mélange bouses + eau est installé. Les crochets pour fixer la bâche du dôme sont installés et la hauteur de la cuve ajustée avec des briques. L'intérieur du réservoir est enduit et lissé. La pente des fondations est réalisée au mortier et les installations doivent sécher durant une journée.



Mise en route

La mise en route du biodigesteur peut s'étaler d'une à 4 semaines selon les conditions climatiques et la fraîcheur des bouses introduites. Le bénéficiaire doit collecter l'équivalent d'une charrette de bouses (soit environ 1,4 m³) le plus proche possible du jour du lancement du réservoir et avoir à disposition deux fois plus d'eau pour l'initiation de la réaction. Les bouses et l'eau sont mélangées et introduites dans la cuve. Enfin, le dôme en bâche est installé à l'aide des crochets et les équipements du kit ASENSE obligatoire (tuyaux et raccords, booster pompe pour l'acheminement du biogaz jusqu'aux terminaux, purificateur du biogaz muni d'un manomètre et un séparateur gaz-eau) posés.



Entretien et maintenance

Pour vidanger le biodigesteur ou effectuer des activités de maintenance à l'intérieur de la cuve, il suffit de vider le biogaz à l'aide la pompe (en le brûlant pour éviter les émissions de méthane) et de retirer la bâche flexible. Concernant l'entretien de la bâche (qui a une durée de vie de 8 ans), ASENSE recommande vivement d'installer une structure qui couvre le réservoir afin de la protéger des rayons UV et des intempéries.

Enfin, l'entreprise propose des services de maintenance à la demande du client qui sont facturées si elles ont lieu en dehors du délai de garantie du système d'un an. Elle commercialise également toutes les pièces de rechange.

Les terminaux et autres matériels proposés par ASENSE

ASENSE propose les produits ci-dessous importés de Chine pour la valorisation du biogaz produit :

- Les réchauds classiques à simple ou double brûleur (consommation de 0,35 m³/h par brûleur)
- Un brûleur large de 160mm de diamètre (consommation de 1-1,5 m³/h) ;
- Un ricecooker d'une capacité de 3 L (consommation – 0,2 m³/h) ;
- Une lampe à biogaz (consommation de 0,09 m³/h)
- Un chauffe-eau et un chauffage ;
- Un générateur (moteur) pour des réservoirs de plus grosse capacité.



Tous ces terminaux sont optionnels et vendus en plus selon les besoins du client. Ils ont une garantie d'un an et une durée de vie qui dépend fortement des conditions d'utilisation.

Par ailleurs, l'installation d'un biodigesteur s'accompagne avec la pose des éléments du kit ASENSE obligatoire composé de :

- Tuyaux de raccordement biogaz (du réservoir aux terminaux)
- Booster pompe qui permet l'acheminement du biogaz jusqu'aux terminaux en cas de pression trop faible dans la cuve

- D'un purificateur du biogaz (permettant de limiter l'usure des terminaux) muni d'un manomètre (pour connaître la pression intérieure de la cuve)
- D'un séparateur eau-biogaz

Valorisation du biogaz et du digestat

Le biogaz est valorisé par l'utilisation des terminaux présentés ci-dessus.

Concernant le digestat, l'entreprise ne dispose pas de techniciens spécialisés pour la valorisation du digestat. ASENSE travaille régulièrement avec des partenaires locaux (universités ou consultants experts) afin de renforcer leurs compétences dans le domaine et former les clients sur l'utilisation du digestat sur demande. Jusqu'à maintenant l'entreprise ne recommande pas une utilisation particulière du digestat. Chaque client le valorise en fonction de son besoin. L'entreprise ne réalise pas non plus de suivi de l'augmentation des rendements des clients qui valorisent le digestat ou d'étude particulière sur le sujet.

Mode de diffusion des biodigesteurs

ASENSE est une entreprise d'installation de biodigesteur qui commercialise ses réservoirs à des particuliers ou des ONG et associations.

Quel que soit le client et surtout dans le cas de vente de biodigesteurs auprès de projets, afin d'assurer la bonne installation des réservoirs et limiter tout problème technique dû à des erreurs de construction, ASENSE impose d'être :

- Le superviseur de la construction des réservoirs (de la fondation de la cuve à la pose de la bâche) – 3 à 4 jours
- L'installateur des équipements du kit ASENSE et des terminaux – 1 jour
- Le contrôleur qualité et superviseur de la mise en route des biodigesteurs – 1 à 2 jours

Ces activités sont facturées sous forme de perdiem. Le client prend également en charge les frais de déplacement et d'hébergement des équipes ASENSE mobilisées.

L'entreprise propose également des formations des bénéficiaires finaux à la gestion et la maintenance des biodigesteurs ainsi qu'aux impacts environnementaux et à la valorisation du digestat. Des coûts additionnels sont à prévoir.

Sélection des bénéficiaires

Bien que l'entreprise n'impose pas de critères de sélection du bénéficiaire final, elle recommande que ce dernier :

- Dispose de suffisamment de bétails (4 zébus parqués 24/24h, 100-120 têtes de poules, 6 à 10 cochons) ou de matières végétales méthanisables pour assurer le maintien de la réaction ;
- Soit à une distance raisonnable d'un point d'eau ;
- Démonstre une réelle motivation pour l'utilisation et la gestion du biodigesteur ;
- Reçoive une formation à l'utilisation et la maintenance des installations.

Financement des biodigesteurs

ASENSE étant une entreprise et ne bénéficiant pas de subventions, le financement du biodigesteur est entièrement à la charge du client (du particulier ou de l'ONG). Les frais sont répartis en

- Apport en nature
 - Les matériaux de construction (gravier, briques, sable, ciment, etc.) sont à acheter par le client. Les prix étant très variés d'une région à l'autre et les matériaux difficiles à transporter (mauvaises infrastructures), cette solution a été choisie par l'entreprise. Ils doivent être rassemblés et disponibles sur le terrain de construction avant le début des travaux.
 - Les fosses doivent être creusées par les bénéficiaires (sur les recommandations d'AENSE) avant l'arrivée de l'équipe de supervision de travaux fournie par l'entreprise ;
 - Les matières organiques et eau nécessaires au chargement initial du biodigesteur doivent être collectées et rassemblées à proximité du lieu de construction du digesteur avant le début du chantier.
- Apport financier
 - Achat des matériels importés (kit AENSE et terminaux)
 - Frais et perdiems dus à la supervision des travaux et l'installation des kits ainsi qu'à la formation du bénéficiaire final.

Dans le cas où l'entreprise travaille avec un projet de diffusion de biodigester avec une ONG ou une association, c'est l'ONG qui détermine la répartition de ces apports et qui assure que toutes ces activités soient bien réalisées en amont des travaux. Les frais et services sont adaptables en fonction des besoins du projet.

L'entreprise réalise également actuellement des recherches concernant le possible financement d'une partie des biodigesteurs par des crédits carbone.

Formation des bénéficiaires

Le déroulé de la formation des bénéficiaires proposée par ASENSE est le suivant :

- Introduction – A quoi sert le biogaz ? Quels sont les bénéfices de l'utilisation du biogaz ? Quels changements cela implique ?
- Gestion du biodigester
 - Intrants - Quels intrants utilisés ? Leur préparation et stockage
 - Digesteur – Mise en route du réservoir, gestion de la production de biogaz selon le besoin, entretien et maintenance de base du biodigester, sécurité d'utilisation.
 - Equipement ASENSE – mode d'utilisation, sécurisation, entretien, etc.

Accompagnement et suivi

ASENSE ne propose pas, dans le prix de vente du système, d'accompagnement ou de suivi des bénéficiaires afin d'être en mesure de proposer des prix bas et accessibles pour l'installation du biodigester. En revanche, elle est en mesure d'assurer des visites de site et des appuis techniques sur demande s'ils sont pris en charge par le client (particulier ou ONG). Lors de l'installation d'un biodigester, ASENSE propose une formation complète qui permet normalement aux bénéficiaires d'assurer la maintenance de base du réservoir. Par ailleurs, l'entreprise évalue actuellement l'intérêt de la mise en place d'outils de mesure qui faciliterait le suivi de l'utilisation et de la production et donc du besoin de maintenance des installations.

Les partenariats

Partenaires opérationnels

ASENSE travaille régulièrement en partenariat avec des consultants internationaux afin d'échanger des informations et pour des consultations ponctuelles.

Par ailleurs, l'entreprise commande son matériel auprès de fournisseurs chinois.

Partenaires institutionnels

L'entreprise travaille également avec des institutions communales comme la Commune Urbaine d'Antsirabe pour un projet de valorisation biologique agricole et mise en place d'un bio digesteur à vocation familiale en 2014 ou la Direction des Energies Alternatives du Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures en 2016 pour une assistance technique sur l'identification et la mise en place d'une unité pilote de biogaz. Actuellement, ASENSE travaille à la mise en place d'un projet communautaire. Les membres d'une association créée au sein d'un village bénéficieront d'un biodigester de 20 ou 30 m³ (nouveaux modèles en cours de livraison). Ils devront tous participer au remplissage de la cuve pour obtenir du biogaz au quotidien. Enfin, l'entreprise travaille avec des universités et instituts (comme l'Institut Supérieur de Géologie, de l'Ingénieur et de l'Environnement ISGIE) afin de participer à la sensibilisation des étudiants et proposer des thèmes de recherche et développement pour des thèses de fin d'étude.

Bilan des installations réalisées à Madagascar

Les installations recensées ici sont celles qui ont été réalisées par l'entreprise. En effet, certains clients choisissent d'acheter les différents accessoires et de fabriquer par eux-mêmes leur digester. Ces derniers ne sont pas suivis par l'entreprise et donc non pris en compte ici.

Les installations par année

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Nombre d'installations	3	13	10	17	10	15	5	73

La fonctionnalité des installations

	Fonctionnelles	Non fonctionnelles
Pourcentage d'installations	80 %	20 %

Les perspectives

Bien que le nombre d'installations ait fortement diminué en 2017 et que cette activité d'installation de biodigesteurs ne soit pas encore rentable pour l'entreprise, ASENSE reste confiant sur l'intérêt porté par les ménages ou opérateurs économiques (restaurateurs, gros éleveurs, etc.) et souhaite donc continuer à participer au développement de cette filière à Madagascar.

Ainsi, ASENSE propose (en plus de son ancien modèle) un nouveau modèle de biodigesteur flexible qui n'exige pas d'étanchéité et d'imperméabilité de la partie maçonnée de la cuve du biodigesteur (problème rencontré sur le modèle initial, particulièrement au niveau des crochets du maintien de la bâche – fissure qui nécessite de refaire tout l'enduit de la cuve avec un coût additionnel). Un flexible en gaine tubulaire rectangulaire hermétique sera placé dans une fosse maçonnée (dont l'étanchéité n'est pas obligatoire). ASENSE propose un volume de cuve de 8 m³ (volume adapté à l'usage domestique) et un de 20 m³ (adapté aux grandes fermes ou aux besoins communautaires). Le coût de cette installation sera supérieur au modèle initial mais il nécessiterait moins d'entretien (enduit). ASENSE mène actuellement une étude technique et commerciale pour évaluer cette nouvelle solution.



ASENSE propose également un sac de stockage du biogaz externe au biodigesteur de 1 à 2 m³ qui permet de stocker du biogaz en cas de surproduction ou de le transporter facilement en cas d'utilisation d'un biodigesteur par une communauté (évite les frais de connexions – tuyauterie, évite l'utilisation d'une pompe, réduit les risques de fuite, etc.)

8.5.3 JIRO/Biogasy

Présentation générale

L'association malgache JIRO, sans appartenance politique ou religieuse, a été créée pour

- Sensibiliser la population au biogaz comme source de combustible alternatif ;
- Installer des biodigesteurs chez certaines familles sélectionnées ;
- Effectuer de la R&D pour réaliser un système de production de carburant à partir de biogaz pour alimenter un moteur.

Son conseil d'administration est composé de 7 membres bénévoles.

Afin d'être en mesure de répondre à la demande d'investisseurs privés et d'avoir plus de crédibilité sur le marché, Hélié Marchand a décidé de créer une SARL en 2010.

L'objectif de ces deux structures est « d'améliorer les conditions de vie de la communauté paysanne par la production d'une énergie renouvelable, le biogaz ».

On désignera par la suite JIRO et Biogasy par « l'association JIRO ».

Pour réaliser ses activités, l'association dispose :

- D'un directeur et technicien spécialiste biogaz ;
- De deux maçons et 4 manœuvres pour les travaux d'installation des biodigesteurs.

Bref historique biogaz de JIRO/Biogasy

Hélié Marchand, directeur de l'entreprise Biogasy SARL créée en 2010 et de l'association JIRO créée en 2009 travaille dans le secteur du biogaz à Madagascar depuis 2008 essentiellement dans la région de Fianarantsoa. Il s'est essentiellement formé sur le terrain, à l'aide d'expériences menées sur le site vitrine et chez les bénéficiaires et en s'appuyant majoritairement sur les volumes I (*Biogas Basics*) et II (*Application and Product Development*) d'un guide spécifique biogaz produits par la GIZ (39).

Depuis 2008, JIRO réalise des activités de sensibilisation de la population au biogaz. Pour ce faire, l'association :

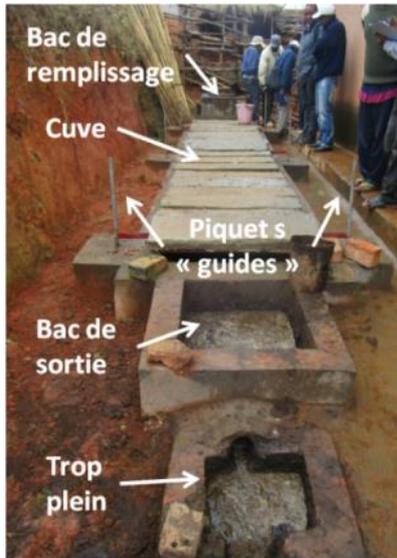
- Réalise et distribue des outils pédagogiques adaptés comme des brochures, des manuels de fabrication de réservoirs, des maquettes de biodigesteurs. Chaque année JIRO distribue près de 250 brochures.
- Organise des réunions villageoises qui rassemblent des associations de femmes et des groupements de paysans pour les sensibiliser à l'utilisation et aux bienfaits du biogaz (cuisson et utilisation du digestat). Chaque année, près de 200 personnes sont sensibilisées grâce à ces réunions villageoises.
- Propose régulièrement des visites de son site vitrine composé de plusieurs modèles de biodigesteurs afin de présenter un exemple concret de réservoir en fonctionnement. Chaque année, près de 100 visites sont organisées.
- Sensibilise des groupes scolaires au travers d'interventions dans les classes sur le thème de l'environnement et des énergies renouvelables et de visites du site vitrine.

Par ailleurs, l'association travaille sur de la recherche et développement afin de réaliser un système de production de carburant à partir de biogaz qui alimenterait un moteur. Pour ce faire, l'association travaille :

- A la purification du biogaz - les tests ont permis d'atteindre un biogaz composé de 85 % de méthane via la pulvérisation d'eau dans un réservoir à air comprimé pour la dissolution du CO₂ et l'usage d'un filtre à soufre ;
- Au stockage et à la compression du biogaz à basse et moyenne pression (objectif visé 7 bars) afin de réduire le volume de stockage ;
- A la valorisation du biogaz comme carburant pour moteur thermique de 4 L (25 kW) afin de produire de l'énergie mécanique qui pourra par exemple être valorisée pour l'utilisation d'une décortiqueuse de riz.

Enfin, depuis 2009, JIRO a installé 27 biodigesteurs chez des familles d'agro-pasteurs de la région de Fianarantsoa. Une première phase entre 2009 et 2014 a consisté à installer 9 biodigesteurs d'un premier modèle. Suite à quelques expériences et recherches JIRO a amélioré son réservoir et a installé 18 biodigesteurs depuis 2014.

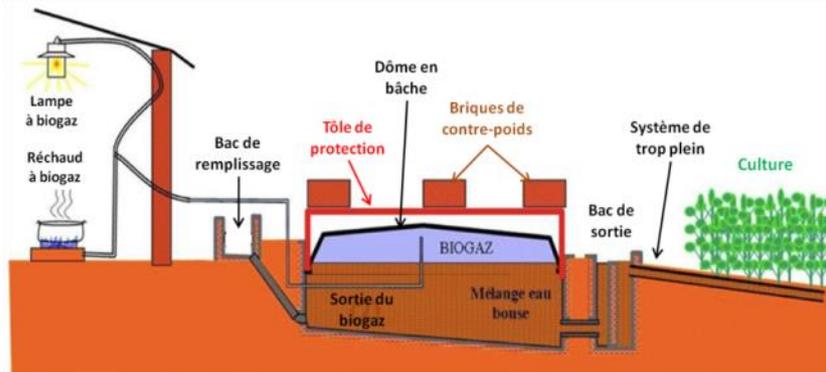
Le modèle de biodigesteur



Actuellement, l'association installe chez les familles bénéficiaires un modèle de biodigesteur maçonné semi-enterré à dôme flottant en bâche de camion cousue sur une structure en cornière métallique vissée. Elle propose quatre volumes de réservoir : 6 m³, 7 m³, 8 m³, 9 m³ ou 10 m³ qui nécessitent d'avoir une surface d'une largeur de 2 m pour tous les modèles (contrainte liée à la largeur d'une bâche de camion de 1,80 m maximum) et d'une longueur variable de 4 à 10 m. Ces modèles produisent entre 1 m³ et 1,4 m³ de biogaz par jour. Le fond de la cuve a une inclinaison de 3 % pour faciliter l'écoulement de la matière introduite vers la sortie. Des dalles en béton (de 1 m x 30 cm x 10 cm et 35 à 50 kg chacune) sont posées sur la structure en cornière afin de protéger la bâche du rayonnement solaire et des intempéries et faire un contrepoids qui permet un stockage du biogaz produit en pression (de l'ordre de 10 à 20 mbar). Lorsque la pression du biogaz est trop faible, le dôme est posé sur des cales construites à l'intérieur de la cuve. Lorsque la pression du biogaz est importante le dôme flotte et

est guidé par 4 piquets « guide » à chaque angle de la structure.

L'installation possède un bac de sortie à niveau d'eau constant égal à celui de la cuve principale (colonne d'eau principale) ainsi qu'un trop-plein utilisé pour récupérer la phase liquide et semi-liquide. Le volume de ces bacs est adaptable selon les besoins. Les intrants quotidiens recommandés sont de 40 L de bouses et 40 L d'eau



pour un biodigesteur de 8 m³.

Un prototype d'un modèle maçonné à dôme flottant en plastique solide (PEHD - Polyéthylène Haute Densité acheté chez Makiplast³⁶) est en cours d'expérimentation sur son site vitrine mais n'a pas encore été diffusé. Son volume est de 3 m³. Il est protégé comme le modèle à bâche à l'aide d'une tôle. Des briques sont posées sur cette tôle pour faire un contre poids qui permet un stockage du biogaz produit en pression (de l'ordre de 20 mbar). Dans la suite, nous ne présenterons que le modèle à bâche diffusé auprès des familles bénéficiaires.

La construction et mise en route du biodigesteur

Construction

Le biodigesteur JIRO est construit à l'aide de techniques de maçonneries classiques et nécessitent donc de sable, gravier, briques, ciment, imperméabilisant et de barres de fers rond. Il faut ajouter à cela le gazomètre (bâche de camion et cornières vissées), les dalles en béton pour le contrepoids.

Pour réaliser un biodigesteur de 8 m³, deux maçons qualifiés et 4 mains d'œuvres non qualifiées doivent travailler 8 à 10 jours pour le gros œuvre. Par la suite, un technicien biogaz viendra réaliser les installations du réseau et du gazomètre durant 1 ou 2 jours.

³⁶<http://www.makiplast.com/>

Les étapes principales de construction du modèle de biodigesteur proposé par JIRO sont :

- Le terrassement (0,5 à 1 jour) et le coulage et séchage du béton du fond de la cuve principale (1 à 2 jours) ;
- Installation de poteaux en béton armé nécessaires au maintien de la structure (2 jours pendant le séchage du béton du fond de la cuve) ;
- Construction du mur en briques de la cuve et chainage de sa partie supérieure (dont le trop plein) et construction du bac d'entrée (3 à 5 jours)
- Séchage et tests d'étanchéité (1 jour)
- Pose du réseau et du gazomètre (1 à 2 jours)

Le gazomètre peut être construit au préalable ou après le gros œuvre pour vérifier les dimensions du gazomètre par rapport à la structure maçonnée. Pour sa fabrication, des cornières sont coupées et vissées en rectangle de la taille de la cuve. Par la suite, la bâche de camion est découpée et cousue à la structure en faisant particulièrement attention à l'étanchéité de ce gazomètre.



Mise en route

Dans un premier temps, le biodigesteur est rempli au $\frac{3}{4}$ d'eau pour vérifier l'étanchéité. Si la cuve est étanche, le bénéficiaire devra alors compléter le remplissage avec $\frac{1}{4}$ de bouses ou de lisier. Par la suite, le chargement quotidien avec un ratio 1:1 peut commencer. L'initialisation de la réaction varie selon les conditions extérieures et la qualité de la biomasse introduite.

Entretien et maintenance

Le biodigesteur nécessite un entretien régulier de vérification (notamment de la soupape) et de nettoyage. Les bénéficiaires doivent régulièrement récupérer le digestat obtenu dans le trop plein afin d'éviter tout écoulement incontrôlé dans l'environnement. La vidange totale du biodigesteur s'effectue en moyenne une fois par an après deux ans d'utilisation. Il s'agit de récupérer 2 à 3 m³ de la phase solide du digestat qui a décanté dans le réservoir qui est à très haute valeur agronomique. La manipulation est relativement simple mais demande la présence d'au moins deux personnes pour retirer les dalles en béton et le dôme flottant qui peuvent être relativement lourds. Le bénéficiaire en profitera pour nettoyer la bâche ainsi que les parois du biodigesteur et vérifier l'étanchéité de la cuve principale.

En ce qui concerne les pièces de rechange, le bénéficiaire est responsable de leur rachat qu'il s'agisse d'une détérioration extérieure ou de l'usure de ces dernières.

Les terminaux et autres matériels proposés

Les ménages bénéficiaires reçoivent :

- Un ricecooker (consommation de 140 L/h pour la cuisson, puis très faible pour maintenir le riz chaud) ;
- Un double brûleur utilisé pour la cuisson des accompagnements du riz (consommation de 300 L/h par brûleur) ;
- Une lampe à biogaz (consommation de 70 L/h pour un éclairage équivalent à 50 W).

JIRO importe ses terminaux auprès de PUXIN³⁷ (fournisseur chinois spécialisé dans le biogaz).

Les connexions biogaz sont réalisées à l'aide de tuyaux et raccords (en T et en coude) rigides en PVC achetés localement souvent enterrés ou incorporés à l'enduit de la maison puis fixés au mur pour rejoindre les terminaux (ce qui augmente leur durée de vie par rapport à un raccordement extérieur). Devant chaque terminal, des vannes de sécurité achetées localement sont installées et doivent être ouvertes et fermées avant et après chaque utilisation.

³⁷<http://en.puxintech.com/>

L'association recommande l'installation d'un désulfurisateur qui permet de réduire le taux de sulfure d'hydrogène (H₂S) qui est toxique, corrosif pour la plupart des équipements et émet du dioxyde de soufre (SO₂) lors de sa combustion, gaz très nocif pour l'environnement. Ce désulfurisateur peut être fabriqué localement et à très bas prix à l'aide de paille de fer que l'on introduit dans un tuyau en PVC transparent souple. Lorsque la paille de fer est noircie, le bénéficiaire devra la remplacer par une paille de fer neuve.



Enfin, JIRO doit importer des têtes de raccordement qui permettent de réduire le diamètre et donc de faire passer le biogaz du tuyau de réseau au tuyau qui est connecté au terminal utilisé. Ces têtes ne sont pas disponibles sur le marché malgache.

Valorisation du biogaz et du digestat

L'association est dans une démarche d'amélioration continue des biodigesteurs qu'elle propose ainsi que des modes de valorisation du biogaz et du digestat produits par ces derniers. Grâce à son site vitrine, elle réalise donc de nombreux tests et analyses pour perfectionner les modèles et l'utilisation des extrants.

Valorisation du biogaz

Chez les bénéficiaires, le biogaz est valorisé par l'intermédiaire des terminaux de cuisson (cuisson de riz et double brûleur) ainsi que la lampe à biogaz proposés par JIRO. Des tests de fabrication artisanale de brûleur et lampe à biogaz ont été réalisés. Bien que les terminaux fonctionnent correctement, le coût de production locale reste bien trop supérieur à celui des terminaux importés. Il est également possible de modifier des brûleurs à gaz disponibles localement à moindre coût mais ces derniers ne sont alors pas suffisamment durables.

Sur le site vitrine, JIRO réalise des tests pour valoriser ce biogaz en carburant qui alimenterait un moteur et faire fonctionner des machines agricoles à fortes valeurs ajoutées pour les agriculteurs (comme une décortiqueuse de riz). Ces recherches permettent également de faire progresser les méthodes de stockage et de compression ainsi que de purification du biogaz.

Valorisation du digestat

Concernant le digestat, bien que l'association préconise en général l'épandage du digestat dilué directement sur les cultures, Hélie Marchand réalise de nombreux tests sur le digestat produit par les biodigesteurs du site vitrine afin de comparer les différentes méthodes de valorisation et préconiser des bonnes pratiques auprès de ces bénéficiaires.

Épandage direct

La valorisation la plus simple, souvent utilisée par les paysans bénéficiaires de JIRO, consiste à épandre le digestat dilué (composé d'1/4 de la partie semi-solide du digestat, de digestat liquide et d'eau) directement sur les cultures. Cet épandage peut se faire en continu par récupération régulière du digestat dans le bac de sortie ou le trop plein ou en une fois en réalisant la vidange du biodigesteur en cas de besoin ponctuel en grande quantité (par exemple lors de la préparation des rizières).

Séparation des phases liquide et solide du digestat

JIRO propose un système de séparation manuel de la phase solide et liquide (sorte de « passoire »). La partie liquide est évacuée par les ouvertures de la passoire tandis que la partie solide reste à l'intérieur de cette dernière. La partie solide est séchée et peut être utilisée comme amendement, la partie liquide peut être réintroduite dans le biodigesteur pour diluer les bouses ou épandue comme engrais liquide sur les cultures. De cette manière, la partie solide peut être stockée et utilisée ultérieurement. Elle est également plus facile à transporter que le digestat liquide.



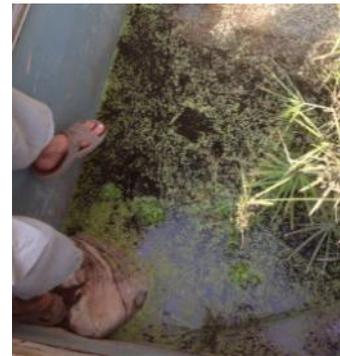
Compostage

Le digestat peut également être composté avec des matières sèches comme de la paille de riz, des fleurs de Jatropha, etc. JIRO poursuit des tests sur ce moyen de valorisation qui n'a pour le moment pas apporté de résultats probants par rapport à l'épandage direct et qui demande un effort plus important (compostage, retournement du compost, etc.).

Algoculture et pisciculture

JIRO a installé sur son site vitrine un bassin rempli par les eaux des digesteurs par système de trop plein. Dans ce dernier, l'association réalise une culture d'algues protéinées utilisées pour nourrir certains animaux du site vitrine, dont les déjections sont alors utilisées en intrant du biodigesteur. Actuellement, JIRO produit donc des jacinthes d'eau utilisées pour nourrir les cochons et des lentilles d'eau pour les poules.

Par ailleurs, JIRO aimerait également réaliser des tests sur la valorisation des eaux des biodigesteurs pour de la pisciculture. En effet, les rejets de digestat sont une nourriture saine et protéinée pour les poissons. De nombreuses installations existent déjà en Chine.



Mode de diffusion des biodigesteurs

JIRO/Biogasy est un « opérateur » et un « projet » biogaz puisqu'elle diffuse des biodigesteurs en partie subventionnés à des familles rurales de la région de Fianarantsoa.

Sélection des bénéficiaires

Afin de bénéficier d'un biodigesteur les bénéficiaires doivent respecter les critères préétablis par l'association qui sont :

- Avoir l'équivalent d'au moins 1 zébu parqué pour 2 personne et/ou 1 porc par personne afin de bénéficier d'assez de matière première (bouses et lisiers) pour remplir le réservoir ;
- Être à proximité d'une source d'eau « pleine » tout l'année afin de pouvoir diluer les matières premières en entrée du réservoir ;
- Avoir une surface suffisante pour l'installation du biodigesteur à proximité de la cuisine ;
- Être en mesure de collecter les matériaux nécessaires à la construction du biodigesteur (sable, briques, gravier) et de mettre à disposition de la main d'œuvre pour les travaux.

Enfin, le point crucial pour JIRO est la motivation des potentiels futurs bénéficiaires (jugée par des échanges, la participation active à la visite du site vitrine et l'efficacité de la collecte des matériaux de l'apport bénéficiaire). Il est essentiel de mesurer leur engagement afin de s'assurer de l'appropriation et de la durabilité des installations. Ainsi, l'association réalise des entretiens d'évaluation avec les familles afin de valider leur motivation.

L'identification des bénéficiaires se fait principalement à l'aide du *bouche à oreille*. Les ménages déjà bénéficiaires communiquent sur les bénéfices de l'utilisation du biodigesteur à leurs proches et voisins qui souhaitent alors en obtenir. Un autre moyen d'identification de nouveaux bénéficiaires très important réside par la communication faite aux enfants lors de leur visite scolaire sur le site vitrine qui expliquent alors la technologie à leurs parents.

Contractualisation avec les bénéficiaires

Avant chaque installation, un contrat est établi entre JIRO et le bénéficiaire (en français et en malgache). Ce dernier mentionne essentiellement les obligations du bénéficiaire (apport en nature) ainsi que son engagement et sa motivation à utiliser correctement le biodigesteur (remplissage, entretien, valorisation, etc.). De son côté, JIRO s'engage à réaliser les travaux d'installation et un suivi régulier. En revanche, l'association ne prend pas en charge les dommages du matériel liés aux intempéries ou aux éventuels sabotages.

Financement des biodigesteurs

Les bénéficiaires participent à hauteur de 20-25 % du digesteur au travers d'apports en nature. Ils doivent fournir une partie des matériaux de construction (gravier, briques, sable), de la main d'œuvre ainsi que les repas des maçons durant les travaux. Aucun apport financier n'est demandé. Les 75-80 % restants sont entièrement assurés par le projet et donc par les subventions obtenues des partenaires. La majorité des réservoirs construits aujourd'hui ont été subventionnés par CODEGAZ, de la fondation ENGIE.

Formation des bénéficiaires

Avant l'installation du réservoir, les familles sont invitées à visiter le site vitrine pour comprendre le fonctionnement du biodigesteur et confirmer leur motivation. Ils reçoivent également les plaquettes de sensibilisation et d'utilisation des réservoirs.

La participation à la construction des réservoirs permet aux familles d'être formés à la maintenance et l'utilisation d'un biodigester (formation théorique). Une fois le biodigester installé et la réaction de méthanisation initiée, une formatrice se rend chez les familles pour les former à l'utilisation des terminaux de cuisson (allumage, réglage de la puissance du feu, etc.). Enfin, JIRO propose des affiches et brochures en langue locale pour l'entretien et la maintenance des installations.

Accompagnement et suivi

Aucun budget n'ayant été prévu pour le suivi et la maintenance des installations (les bailleurs n'y étant pas favorables), JIRO rend uniquement visite aux ménages bénéficiaires qui sont à proximité du site vitrine. En revanche, les membres de l'association restent joignables par téléphone et peuvent se déplacer sur demande en cas de problème. Enfin, lorsqu'une pièce doit être changée, le ménage est responsable des frais d'achat de cette dernière.

Les partenariats

Depuis le lancement de ses activités, JIRO a travaillé avec divers partenaires locaux ou internationaux aussi bien sur des aspects opérationnels que financiers.

Partenaires financiers

Bien que l'association ne soit plus actuellement financée par CODEGAZ, ce dernier a été le principal bailleur de JIRO puisqu'il lui a permis d'installer 18 biodigesteurs familiaux entre 2014 et 2015.

En 2009, WWF a financé l'installation d'un réservoir de 8 m³ dans la région de Tuléar pour la protection de la mangrove.

Partenaires opérationnels

Pour la sensibilisation...

Afin de former les jeunes aux bénéfices de l'utilisation du biogaz à Madagascar, JIRO travaille très étroitement avec des écoles, collèges, lycées et universités de Fianarantsoa à l'organisation de visite du site vitrine et interventions dans les classes.

Depuis 2008, l'ONG malgache Bel Avenir³⁸ qui travaille sur des projets sociaux et d'éducation en intégrant l'environnement est partenaire de JIRO. En effet, ces deux organisations travaillent ensemble à la sensibilisation et la formation des jeunes au respect de l'environnement et à l'utilisation du biogaz au travers de :

1. L'organisation de visites du site vitrine de JIRO ;
2. La formation d'élèves (de 16 à 23 ans) dans le cadre du projet de la ferme école de Fianarantsoa³⁹ aux techniques de maçonnerie et de menuiserie ;
3. Stages ou d'embauches de diplômés au sein de l'association ;
4. Etc.

Plusieurs coopératives locales de groupements de femmes ou de paysans collaborent également avec l'association afin d'organiser des réunions paysannes. Ces dernières permettent de réaliser des séances de sensibilisation des membres des coopératives et de faciliter la sélection de futurs potentiels bénéficiaires.

Enfin, JIRO a également organisé plusieurs visites de son site vitrine, des séances de formation et des conférences pour d'autres organisations telles que FAFAFI ou les Sœurs de Tuléar.

Pour l'installation de matériel...

JIRO travaille depuis 2008 avec le Relais Madagascar⁴⁰, qui déploie un projet innovant d'insertion au travers d'activités socio-économiques telles qu'un centre de tri de friperies, un atelier de construction automobile, des complexes hôteliers écotouristiques ou la gestion des déchets de la commune urbaine de Fianarantsoa. Jusqu'à aujourd'hui, ce partenariat se matérialise essentiellement par la fabrication de matériel (tel que des lampes à biogaz ou des détendeurs) pour le Relais. Cependant, des projets de valorisation des Fractions Fermentescibles des Ordures Ménagères (FFOM) et de récupération des gaz émis par le compostage de ces dernières sont en cours de déploiement.

³⁸<http://ongbelavenir.org/qui-sommes-nous/>

³⁹<http://ongbelavenir.org/ambiental/projets/restauration-des-milieus/ferme-ecole-de-fianarantsoa/>

⁴⁰<http://www.lerelais.mg/rubriques/qui-sommes-nous>

Bilan des installations réalisées à Madagascar

Les installations par année

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nombre d'installations	1	1	1	6	12	2	4

La fonctionnalité des installations

	Fonctionnelles	Non fonctionnelles
JIRO	27	0

Les perspectives

Développer les activités

JIRO souhaite continuer l'installation de ses unités domestiques auprès de nouveaux clients dans la région de Fianarantsoa au d'autres zones de l'île.

Diversifier ses activités

JIRO souhaite diversifier ses activités *biogaz* à Madagascar et envisage par exemple d'installer des biodigesteurs de volume plus important pour des cantines ou structures hôtelières (valorisation du biogaz pour la cuisson des repas) ou des alambics (valorisation du biogaz pour la distillation). L'association souhaite également valoriser le méthane émis sur des sites de traitement des déchets organiques (récupération du biogaz émis par le compostage), des rizières (en comparant la fertilité du sol) ou sur des sites d'usines rejetant des graisses non valorisées ou traitées pour réduire les émissions de GES induites.

JIRO envisage également de mettre en place un biodigesteur communautaire dans le quartier à proximité de son site vitrine pour valoriser les déchets organiques (nuisance) sous forme de biogaz carburant et d'alimentation porcine (digestat)

Tests et innovations

Des tests expérimentaux sont menés afin de valoriser le biogaz en carburant qui pourrait être utilisé par l'intermédiaire d'un moteur pour une décortiqueuse de riz par exemple.

Des tests expérimentaux sont réalisés pour filtrer le biogaz par voie biologique par l'utilisation de la spiruline qui capte le dioxyde de carbone.

Enfin, JIRO recherche un site pour l'implantation d'une ferme-école ayant pour base pédagogique le concept de ferme intégrée qui maximiserait les bénéfices des futurs utilisateurs biogaz (déchets organiques non valorisés transformés en biogaz pour la cuisson et en digestat pour une utilisation en engrais, alimentation animale, culture d'algues, piscicultures, etc.).

8.5.4 CNRIT

Présentation générale

Le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) est un établissement public à caractère scientifique, technique et économique (EPIC). Il a été créé en 1987 et réorganisé en 1992. Il est placé sous la tutelle technique du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupRES) et sous la tutelle financière du Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget (MEFB).

Le Centre a pour mission de participer à l'élaboration et la conduite de la politique nationale de recherches pour le développement (innovation, valorisation des ressources locales, adaptation des technologies étrangères, etc.) et leurs applications pour un développement durable (appui aux opérateurs, renforcement des capacités, diffusion d'informations, etc.). Le CNRIT a un effectif de 110 employés composés de cadres administratifs, de chercheurs enseignants et de personnels d'appui (ingénieurs, techniciens et ouvriers). Il travaille essentiellement avec les centres de recherches nationaux, des bailleurs nationaux comme la fondation environnementale malgache Tany Meva⁴¹ (qui œuvre à l'amélioration du bien-être des ménages au travers de financement de projets communautaires durables à vocation environnementale) ou l'Association Nationale d'Actions Environnementales - ANAE⁴² (qui contribue à la mise en place d'une gestion durable des ressources naturelles ainsi qu'à l'amélioration du cadre de vie rural) ou internationaux comme la FAO ou USAID par le biais de projets antérieurs..

Le département *biogaz* fait partie du département énergétique et est composé de 12 employés permanents qui sont majoritairement issus de l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo et Antsirana (Diego-Suarez) et des lycées techniques de Madagascar. Ces derniers sont régulièrement mandatés par des opérateurs biogaz pour réaliser de la sous-traitance sur des aspects techniques en consultance. Le département est un des premiers opérateurs à avoir réalisé des installations biogaz à Madagascar.

Bref historique du CNRIT dans le secteur biogaz

Lors de sa création, certains membres de la cellule biogaz du CNRIT ont bénéficié de formations en Suisse, en Inde et en Chine sur la construction des biodigesteurs. Depuis, le transfert de compétences s'effectue entre eux au sein du département.

Les premiers biodigesteurs installés par le CNRIT ont été construits entre 1986 et 1988 dans le cadre du projet « Technologie de Biogaz » réalisé en partenariat avec la FAO dont l'objectif était de développer des technologies biogaz à Madagascar. Pour ce faire, le CNRIT installait des biodigesteurs de volume de 8, 11 et 15 m³ à cloche flottante auprès de familles d'agro-pasteurs dans les régions de Bongolava, Vakinankaratra et Analamanga.

Depuis le CNRIT a installé 5 réservoirs entre 11 m³ et 30 m³ avec différents partenaires. En 1994 (ANAE), 2005 (Port Fluvial de Tamatave), 2013 (projet EAST), 2014 (CRS Madagascar) et 2017 (ferme familiale Mamy à Toamasina).

Désormais, le CNRIT souhaite développer ses biodigesteurs selon 3 axes :

- La satisfaction des besoins énergétiques des ménages (faible consommation d'énergie et petit volume de digesteur) et l'approvisionnement en digestat de leur culture ;
- La satisfaction des besoins énergétiques des grands consommateurs d'énergie comme les cantines scolaires (cas croix rouge Antsirabe), les cantines des employés du Port Fluvial de Toamasina ;
- L'assainissement et l'amélioration des lieux publics par la valorisation énergétique des latrines publiques dans l'optique de diffuser la technologie de biogaz et d'éradiquer la défécation à l'air libre.

Le CNRIT dispose d'un savoir-faire pour l'installation d'un modèle de réservoir maçonné (enterré ou non) à dôme flottant rigide (en tôle plane noire) de volumes compris entre 11 m³ et 30 m³ qui nécessitent une surface de 16 m² à 25 m² et d'une profondeur variant de 50 cm à 3 m selon la hauteur de la nappe phréatique. Son expérience lui permet aujourd'hui d'adapter le modèle de digesteur selon la place disponible et les besoins du bénéficiaire.

⁴¹<http://www.tanymeva.org/>

⁴²<http://anae-mada.org/Accueil>

La construction et mise en route du biodigesteur

Construction

Le biodigesteur CNRIT est construit à l'aide de techniques de maçonneries classiques et nécessitent donc du sable, gravier, briques, ciment, imperméabilisant et de barres de fers rond. Ce dernier est également composé de sa cloche flottante métallique et de son guide ainsi que des raccords. L'ensemble du matériel utilisé est acheté localement et ne nécessite donc pas d'importation. Les étapes principales de construction du modèle de biodigesteur proposé par le CNRIT sont :

- La fouille et la réalisation de la fondation en béton armé ;
- L'élévation de la cuve en maçonnerie de briques hourdées au mortier de ciment et son chaînage en béton armé ;
- La construction de la voute (coffrage et maçonnerie de briques hourdées au mortier de ciment, enduit) et de l'anneau supérieur pour la pause de la cloche (coffrage et coulage en béton armé, décoffrage et enduit) ;
- Mise en place du guide de la cloche métallique ;
- Confection de bacs de chargement et déchargement et du joint hydraulique (maçonnerie de briques hourdées au mortier de ciment) ;
- Mise en place de la cloche métallique et des accessoires.

Mise en route

Pour la mise en route du biodigesteur, le CNRIT conseille un remplissage mélange volume à volume selon le dimensionnement du biodigesteur. La production de biogaz dépend alors fortement du rapport C/N et de la teneur en Matière Sèche (MS) introduite ainsi que de la température moyenne extérieure. Avec un rapport C/N compris entre 10 et 40 et la teneur en MS supérieur à 2 % ainsi qu'une température moyenne autour de 35°C, le premier allumage peut être réalisé au bout de 20 à 25 jours.

Entretien et maintenance

Si le biodigesteur est utilisé dans de bonnes conditions, le CNRIT recommande une vidange tous les 5 ans. Il faut alors retirer la cloche flottante pour vider entièrement la cuve (après avoir vidé le biogaz en le brûlant), nettoyer les parois et vérifier l'étanchéité de la cuve et toutes les conduites y afférentes.

Au-delà du nettoyage et des maintenances de base, le CNRIT recommande à ses bénéficiaires de repeindre la cloche flottante en noir mat afin d'optimiser la captation de la chaleur solaire et donc optimiser la réaction anaérobie.

Les terminaux et autres matériels proposés

Les brûleurs proposés par le CNRIT sont variables et dépendent de la demande et des besoins du bénéficiaire. Ils sont fabriqués localement par l'intermédiaire du département énergétique et métallurgie du CNRIT. Le CNRIT dispose de modèles de brûleurs à basse pression pratique dans le cas où la pression est très faible.

Valorisation du biogaz et du digestat

Valorisation du biogaz

La valorisation du biogaz dépend du bénéficiaire. Les terminaux sont fabriqués localement par le département métallurgie du CNRIT en fonction de la demande. De manière générale, il s'agit essentiellement de brûleur à biogaz classique utilisé pour la cuisson des aliments.

Valorisation du digestat

Le département biogaz du CNRIT dispose d'un technicien spécialisé dans la valorisation du digestat. Les analyses et tests réalisés par le CNRIT sur le digestat ont permis de mettre en évidence des améliorations des rendements que ce dernier soit directement épandu, séché ou composté. Par ailleurs, le centre étudie la qualité du digestat qui dépend fortement des intrants utilisés et prend en considération les impacts du digestat qui peuvent être néfastes pour le sol dans le cas d'une mauvaise utilisation.

Mode de diffusion des biodigesteurs

En tant que EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et commercial), le CNRIT n'est pas agréé à la vente directe de matériel. Le Centre doit réaliser une activité de transfert de

connaissance et de compétence à un bénéficiaire mais ne peut uniquement commercialiser un système. Ainsi, tous les projets réalisés par le CNRIT l'ont été en partenariat avec une ou plusieurs autres structures comme des ONG et/ou des institutions.

Le CNRIT travaille avec différentes entités pour la mise en place des biodigesteurs. Il met en place des biodigesteurs auprès de ménages, des structures institutionnelles ou des projets de traitement de déchets organiques au niveau d'un marché, d'un Fokontany, d'une Commune, etc. comme mentionné dans ses 3 axes d'intervention.

Les partenaires

Le CNRIT est placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupRES) – tutelle technique et le Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget (MEFB) - tutelle financière.

Il travaille avec les centres nationaux de recherches pour le partage et la diffusion d'information ainsi qu'avec les organismes qui sous-traitent certains aspects techniques de leur projet d'installation de biodigesteurs.

Les installations réalisées à Madagascar

Depuis le lancement de ses activités, le CNRIT a construit 12 biodigesteurs à Madagascar en partenariat en partenariat diverses ONGs et institutions.

Partenaires	Nombre installations	Année	Volume cuve	Bénéficiaires	Fonctionnalité
Projet FAO	7	1987-1989	15 m ³	Ménages	30 % (2 / 7)
Croix Rouge	1	1989	25 m ³	Cantine	Oui
ANAE	1	1994	11 m ³	Cantine	Oui
Port Tamatave	1	2005	20 m ³	Port fluvial	Non
EAST	1	2013	30 m ³	CU/SAMVA	Oui
CRS	1	2014	15 m ³	Ménage	Non
Ferme Familiale Mamy	1	2017	45 m ³	Ferme d'élevage	Oui

Les installations réalisées avec le FAO destinées à des ménages ruraux, dont les intrants étaient des bouses de zébus et lisier de porcs, sont en grande majorité non-fonctionnels (5/7) à cause des problèmes d'insécurité et de vol de zébus de la zone et donc de l'insuffisance d'intrant pour leur bon fonctionnement. Parmi les autres installations, seul le réservoir du port fluvial de Tamatave (à cause du manque d'implication de l'administration locale) et le ménage du projet CRS ne sont pas fonctionnels.

L'installation réalisée en 1994 en partenariat avec ANAE qui avait pour objectif de réduire l'utilisation du bois-énergie d'une cantine scolaire est toujours fonctionnelle. Enfin, l'installation réalisée en partenariat avec EAST avait pour objectif de traiter les boues de vidange et d'assainir un quartier de la CU d'Antananarivo.

Le CNRIT a installé un biodigesteur de pour une ferme à Tamatave qui souhaite valoriser les bouses des vaches laitières et des fientes des poules pondeuses élevées et traiter les eaux résiduaires de la ferme. Le système est fonctionnel pour les besoins énergétiques de la ferme (cuisson repas personnel et des vaches laitières) ; production d'eau chaude, etc.

Les perspectives

Actuellement, le CNRIT réalise des formations des étudiants qui préparent des mémoires sur le thème du biogaz ainsi que des associations qui travaillent dans le domaine environnemental qui englobe le processus de production de biogaz à partir de différents types de biomasse ainsi que le dimensionnement d'unité à partir de la loi d'équivalence « **Ressource et Besoins** ». Par ailleurs, le Centre réalise également de la recherche sur le domaine de l'assainissement par la valorisation des déchets fermentescibles (cas des latrines) ainsi que des consultances auprès de divers projets environnementaux.

Le CNRIT souhaite essentiellement travailler en support aux communes urbaines et rurales pour la mise en place de réservoir permettant la valorisation des déchets fermentescibles, la réduction des pollutions dues à la défécation à l'air libre, l'assainissement de l'environnement de la commune bénéficiaire et la production d'un engrais biologique.

8.5.5 SISTEMA.BIO

Présentation générale et historique

Sistema.bio est une entreprise sociale créée au Mexique en 2010. Son fondateur, Alex Eaton, a travaillé 10 ans au sein de l'ONG IRRI (Institut International de Ressources Renouvelables) à la diffusion (production, installation, opération, maintenance et suivi) de biodigesteurs flexibles chez des petits producteurs agricoles avant de créer sa propre entreprise. Sistema.bio. A ce jour, l'entreprise a déjà installé plus de 3 500 biodigesteurs en Amérique Latine (Mexique, Nicaragua, Cuba, Pérou, Bolivie et Colombie), en Inde et en Afrique (Ghana, Kenya, Tanzanie, Ouganda, Nigeria, Sénégal et Madagascar). Sistema.bio s'ouvre actuellement sur les projets d'assainissement d'eaux usées.

L'entreprise, dont la vision est « un monde durable, équitable, empathique et sans déchets » souhaite répliquer son modèle d'entreprise sociale rentable et à forts impacts dans de nouvelles régions du monde. L'ouverture de filiales locales ou de partenariats avec des distributeurs locaux permettrait d'atteindre l'objectif de toucher 250 000 bénéficiaires dans 12 pays de 4 continents d'ici 2021.

Sistema.bio installe principalement des biodigesteurs pour des petits agriculteurs et travaille également avec des gouvernements, des universités et des ONGs sur des projets de recherche et développement.

Actuellement, l'entreprise compte une soixantaine d'employés. Le siège est basé à Mexico. Au Mexique, l'entreprise est constituée d'un siège, de trois bureaux de terrain régionaux composés de vendeurs et techniciens et d'une usine de production en cours de certification ISO9001. Au Nicaragua, en Colombie et au Kenya se sont développées des équipes de direction locale (supervisées par le siège), de vendeurs et de techniciens pour développer l'accès à sa technologie.

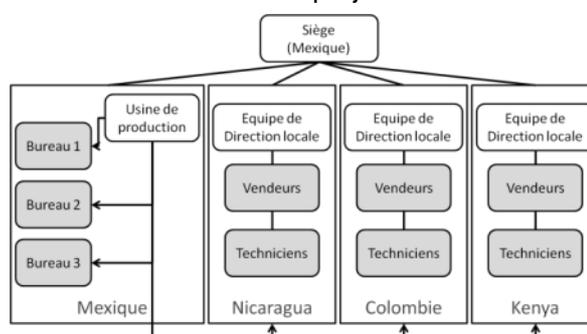


Figure 38 - Organisation de l'entreprise Sistema.bio

A Madagascar, l'entreprise a réalisé une installation de 160 m³ (4 réservoirs de 40 m³) à Antananarivo pour un projet de traitement des boues de vidange mené par WSUP et CARE. A ce jour, cette installation est la plus conséquente à Madagascar. (se référer à la description de ce projet en Partie 8.6.2).

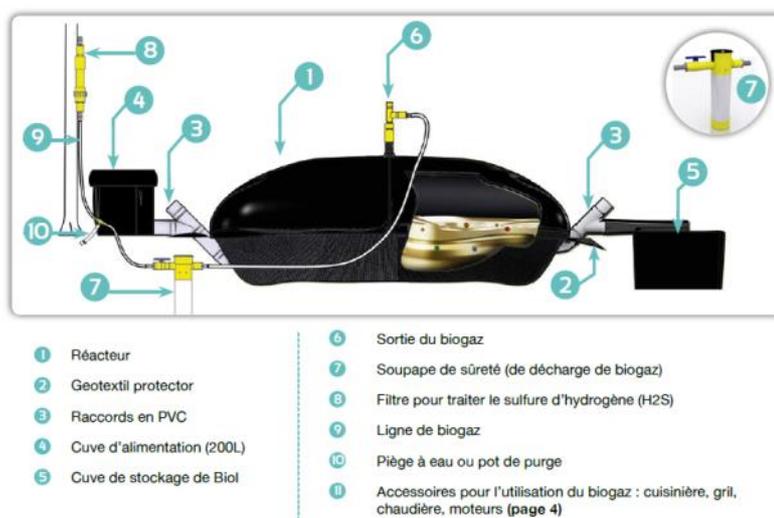
Le modèle de biodigesteur

Sistema.bio a développé son propre modèle de biodigesteurs flexibles et a déposé un brevet. L'entreprise a reçu divers prix pour le développement de sa technologie, notamment de la Clinton Global Initiative.

Elle propose 11 volumes de biodigesteurs allant de 4 m³ à 40 m³ de contenance liquide. Les biodigesteurs sont livrés en kit complet et préassemblé composé des éléments présentés dans le schéma ci-contre.

Le réacteur est fabriqué en géomembrane de polyéthylène à basse densité linéaire (LLDPE) de 1,5 mm d'épaisseur afin d'assurer une longue durée de vie (20 ans) même dans des conditions difficiles et en étant exposée aux rayons UV.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques techniques de 4 modèles de biodigesteur.



Volume du réservoir (m ³)	6 m ³	10 m ³	14 m ³	20 m ³
Capacité biogaz (m ³)	2,3	3,8	5,4	7,7
Apport journalier requis en bouse (kg) pour une température comprise entre 15 et 23°C	34	64	83	127
Apport journalier requis en eau (L)	90	180	240	360
Stockage digestat (digesteur + sortie) (m ³)	8,3+0,5	13,8+1	19,4+1	27,7+1,5

La construction et mise en route du biodigesteur

Construction / Installation

Dans 90 % des cas, l'installation du système ne nécessite aucune maçonnerie mais uniquement l'excavation d'une tranchée dans laquelle sera positionné le réservoir en 3 heures. Si le sol ne le permet pas (nappe phréatique élevée, sol sablonneux, etc.), la construction d'un mur de contention (briques, colonnes et ceintures renforcées) est nécessaire.



Une fois la tranchée creusée, un géotextile doit y être installé pour protéger le flexible du sol. Le flexible peut alors être déployé dans la tranchée protégée.

Un manuel d'installation a été réalisé par l'entreprise pour accompagner tout bénéficiaire qui souhaite installer un biodigesteur (dimensionnement de la tranchée, construire du mur de contention si nécessaire, installation et connexions de tout le matériel livré dans le kit, etc.).

Mise en route

Une fois le système installé, il doit être rempli d'eau jusqu'à ce que le niveau soit suffisant pour s'assurer que le biogaz ne puisse pas s'échapper par les tuyaux PVC d'entrée et de sortie du digestat. Sistema.bio recommande alors d'introduire :

- L'équivalent de 10 jours de la charge journalière recommandée selon le modèle (rumen ou bouses de vache de préférence ou lisier). Le biodigesteur est laissé au repos pendant une durée de 2 à 6 semaines en fonction de la température. Dans le cas où du digestat d'un autre système fonctionnel est localement disponible, son introduction permettra de diminuer le temps de démarrage.
- Lorsque le biodigesteur est gonflé et que le biogaz brûle, le bénéficiaire peut commencer à alimenter régulièrement son biodigesteur comme indiqué dans le manuel.



Entretien et maintenance

La conception du système de Sistema.bio a été effectuée de manière à faciliter les opérations de maintenance et d'entretien des installations. L'entreprise recommande de réaliser les activités suivantes :

- Alimentation régulière en intrant (en suivant les quantités recommandées) et agitation quotidienne de la géo-membrane ;
- Gestion appropriée du biogaz et du digestat produits ;
- Entretien de la ligne de biogaz (vérification du niveau d'eau dans la soupape de décharge, de l'accumulation d'eau dans les pièges à eau installés sur la conduite de biogaz, remplacement de la laine de fer du filtre de sulfure d'hydrogène et de la ligne de biogaz pour détection de fuites le cas échéant).

Par ailleurs, il est recommandé de purger le réacteur tous les 3 ou 4 ans en introduisant une grande quantité d'eau et agitant la géo-membrane et tous les 8-20 ans réactiver le biodigester en pompant toutes les boues accumulées dans le réservoir et en réintroduisant la charge initiale.

Enfin, bien que la géo-membrane soit garantie 20 ans dans le cas d'une bonne utilisation, il est recommandé de construire une clôture autour du système pour limiter son accès incontrôlé et un toit pour protéger le réacteur en cas de chute d'objets. En cas de dommage, la membrane peut être réparée en utilisant une bande collante butyle ou par soudure. Un guide d'utilisation fourni par Sistema.bio explique toutes les manipulations liées à l'utilisation et la maintenance des biodigesteurs.

Les terminaux et autres matériels proposés

Sistema.bio produit l'ensemble des matériels proposés à ses clients. Il s'agit du kit du réservoir mais également les terminaux de valorisation du biogaz pour la cuisson ou la valorisation via un moteur.

Le kit

Comme présenté précédemment le kit de base est composé des éléments essentiels du biodigester (géo-membrane, ligne biogaz, filtres et soupape, cuves d'entrée et de sortie du digestat) et des outils de maintenance de la géo-membrane (bande collante butyle à utiliser en cas de dommage sur la membrane de la cuve principale).

Les terminaux de valorisation du biogaz

L'entreprise propose un brûleur large de 10 cm de diamètre qui consomme entre 300 et 600 L par heure d'utilisation, une cuisinière (2 brûleurs), un gril haut et un chauffe-eau.



Les moteurs

L'entreprise propose également des moteurs et accessoires adaptés à la valorisation du biogaz pour les biodigesteurs de grande taille. Il s'agit de transformer le biogaz en énergie mécanique pour actionner une pompe à eau, un broyeur à fourrage, une décortiqueuse de maïs, etc.

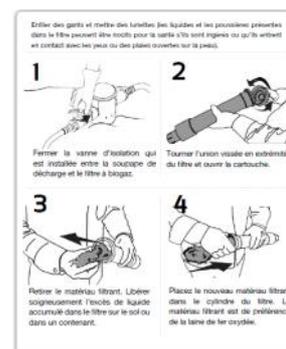
Valorisation du biogaz et du digestat

Valorisation du biogaz

Le biogaz peut être valorisé directement via des terminaux de cuisson, un chauffe-eau, des lampes de chauffage pour maternités porcines ou par l'intermédiaire de moteurs sous forme mécanique.

Valorisation du digestat

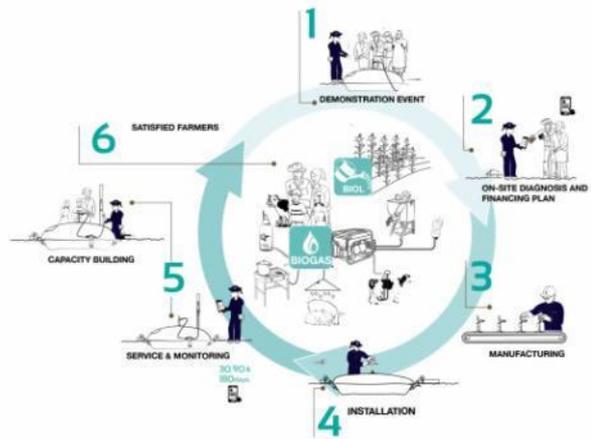
Sistema.bio a mené et mène encore des études approfondies sur la valorisation du digestat. L'entreprise dispose de spécialistes sur cet aspect au sein de son organisation et travaille en partenariat étroit avec IRRI pour améliorer les impacts du digestat et travailler sur une utilisation optimum. Des recommandations sont déjà proposées aux clients dans le manuel d'utilisation du digestat et des articles scientifiques ont été publiés à ce sujet. Sistema.bio travaille actuellement avec les programmes nationaux de diffusion du biogaz au Kenya et au Nicaragua pour consolider les meilleures pratiques au niveau global et publier une étude complète d'impact du digestat sur les cultures.



Mode de diffusion des biodigesteurs⁴³

Sistema.bio a développé un programme en 6 étapes qui permet d'assurer la durabilité des installations commercialisées auprès de paysans comme présenté dans cette vidéo ([LIEN](#)).

7. Des séances de démonstration et des visites de sites sont organisées pour convaincre de potentiels nouveaux clients des bénéficiaires du système.
8. Pour chaque nouveau client potentiel, un diagnostic et un plan de financement est établi au préalable pour déterminer le modèle le plus adapté et les bénéfices de l'installation
9. Le système choisi est produit dans les usines de l'entreprise
10. Le système est installé chez le client
11. Les clients reçoivent (dans les zones de présence de l'entreprise) 3 visites de suivi à 1, 3 et 6 mois après l'installation pour assurer la formation du client, le fonctionnement technique du système et réaliser des mesures d'impacts qui sont documentées.
12. Ce processus permet la création d'un réseau de paysans satisfaits qui permet un déploiement à plus grande échelle en réalisant des visites de site, etc.



Sélection des bénéficiaires

Les clients de Sistema.bio (qui financent majoritairement la totalité des installations ou en partie lors de l'implémentation de projet d'ONGs ou gouvernementaux) sont sélectionnés lors de la réalisation d'un diagnostic et doivent montrer un réel intérêt suite à une visite de site d'une installation fonctionnelle. Le diagnostic est réalisé chez le potentiel client pour :

- S'assurer de son éligibilité (accès à l'eau, disponibilité de déchets organiques, surface disponible suffisante pour l'installation et demande énergétique) ;
- Déterminer le modèle le plus adapté (intrants, besoin, surface, etc.), les bénéfices attendus et la préparation d'un plan de financement adapté aux revenus du ménage.

Financement des biodigesteurs

Les biodigesteurs fournis par Sistema.bio en ventes directes sont financés à 100 % par les bénéficiaires finaux. Le prix de vente englobe

- Les installations - kit complet et installation du système chez le client ;
- Une formation initiale et trois visites de suivi les 6 premiers mois (en cas de proximité relative des bureaux de l'entreprise) ;
- Les divers guides d'utilisation ;
- Un accès à un service de diagnostic à distance (mail ou téléphone) pour accompagner le client ou évaluer le besoin d'une visite supplémentaire qui sera alors facturée.

La préparation des tranchées sont aux frais du bénéficiaire du système. Pour les ventes directes Sistema.bio peut fournir au client un prêt sans intérêt sur 1 an grâce à sa collaboration avec des organismes de financement et de microcrédit.

Formation et accompagnement des clients

Afin d'assurer un taux d'adoption élevé du biodigesteur sur le long terme, les clients sont accompagnés lors de l'installation du réservoir puis grâce aux trois visites des techniciens de l'entreprise durant les 6 premiers mois d'utilisation (révision des installations, formation continue des clients, etc.). Des guides illustrés d'installation du système, d'utilisation et d'entretien du biodigesteur et de la valorisation du biogaz et du digestat sont inclus dans le prix d'achat et permettent aux clients de s'autonomiser. Les équipes de l'entreprise restent également disponibles par mail ou téléphone durant la semaine pour répondre aux différentes questions techniques des clients.

⁴³<https://youtu.be/P3LPN0wk6f4>

Les partenariats

Partenaires financiers

Sistema.bio est une entreprise sociale qui a développé un modèle social et économique rentable à travers la production, la vente et le service de biodigesteurs à petite échelle. Leurs partenaires financiers et investisseurs les plus importants sont la fondation Shell, Engie Rassembleurs d'Énergies, Factor[e] Ventures et Low Carbon Enterprise Fund). Des partenariats avec diverses organisations internationales de développement, notamment avec USAID, HEIFER, CINI (une initiative de TATA Trust), SEDESOL, WSUP, WK Kellogg, SAGARPA, etc. ont été créés pour réduire la barrière financière pour les petits agriculteurs.

Partenaires opérationnels

Les partenaires opérationnels principaux sont :

- IRRI, ONG de développement social et agricole qui accompagne l'entreprise sur les aspects de recherche et développement et de formation sur les écotecnologies et l'agriculture ;
- Des organismes de microcrédits locaux ou de financement qui proposent des facilités de paiement aux ménages intéressés par la solution ;
- Des ONG, associations d'éleveurs ou coopératives agricoles locales permettant de favoriser le déploiement de la solution à plus grande échelle ;
- Des universités qui ont permis d'avancer sur le développement technique, de solutions financières et sur les mesures d'impacts sociaux et environnementaux (Instituto Tecnológico del Altiplano, Cranfield University, UCL, University of Michigan) ;
- Ingénieur sans frontière apporte un soutien pour le développement technique de la solution et des terminaux de valorisation du biogaz.

Dans le cas d'un projet de moyenne à grande envergure dans un pays dans lequel l'entreprise ne dispose pas de bureau local, un opérateur local existant doit être formé par Sistema.bio afin qu'il puisse assurer le déploiement de la solution.

A Madagascar, Sistema.bio a travaillé en partenariat avec WSUP et CARE pour la mise en place d'un biodigesteur de 160 m³ pour le traitement de boues de latrines de la Commune Urbaine d'Antananarivo. (cf. description du projet en Partie 8.6.2).

Perspectives à Madagascar

Le développement des nouveaux bureaux de Sistema.bio au Kenya permet d'implémenter de nouveaux projets dans la région d'Afrique de l'Est et de l'Océan Indien. Sistema.bio cherche à créer de nouveaux partenariats avec des associations et des ONGs actives dans la région pour permettre l'accès à la technologie de biodigestion aux communautés d'Afrique de l'est et en particulier à Madagascar.

8.5.6 ARAFA

Présentation générale et historique

ARAFA est une entreprise sociale (SARL de droit malgache) qui travaille essentiellement dans les domaines de l'eau, l'assainissement et les énergies renouvelables. Elle souhaite déployer des solutions simples, locales et adaptées au contexte de Madagascar tout en développant les compétences locales et valorisant les ressources disponibles sur l'île.

Depuis 2015, l'entreprise travaille sur :

- La conception et la fabrication de produits « Made in Madagascar » (tels que des pompes à eau manuelles, des biodigesteurs domestiques, des turbines hydroélectriques, chauffe-eau solaire, éolienne, etc.) et leur commercialisation ;
- La mise en œuvre de projets communautaires d'adductions d'eau et d'irrigation ;
- La réalisation d'études (R&D) dans les domaines d'application impactés par l'entreprise (eau, assainissement et énergie) afin de pouvoir déployer à plus grande échelle les technologies conçues en partenariat avec d'autres organismes locaux ou internationaux.

ARAFA travaille avec des particuliers, des communautés ou associations locales, des bureaux d'étude, des ONGs, des acteurs du secteur privé (BTP, promoteurs immobiliers, groupes agroalimentaires).

Le financement initial de l'entreprise social a été réalisé par les actionnaires et par l'intermédiaire de *crowdfunding* pour le lancement de projets pilotes. Depuis la fin de l'année 2016, la vente des produits et la réalisation de projets ont permis à l'entreprise d'atteindre un équilibre financier qui permet de réinvestir dans le développement de nouvelles activités.

ARAFA compte 4 associés (dont un gérant et deux co-gérant qui assurent le soutien technique et managérial des projets), un manager d'équipe, un responsable appel d'offre (étude amont et chiffrage des projets), une responsable administrative, un directeur de la production, un responsable des projets énergie, un chef de projet et une équipe projet (2 techniciens, 1 plombier et 1 maçon) et une équipe de production (2 soudeurs et 1 assembleur).

Les membres d'ARAFA se sont essentiellement formés par eux-mêmes (internet, littérature scientifique), par l'expérimentation (prototypes) et les échanges avec les partenaires locaux.

Modèle de biodigesteur

ARAFA propose plusieurs modèles de biodigesteurs :

- Un modèle à dôme fixe en briques et étanchéité en crépis et béton, le dôme étant une dalle en béton armée horizontale ;
- Un modèle en fibre de verres pour des installations sur mesure et légères déplaçables, en collaboration avec SMTP ;
- Un modèle utilisant les cubitainers (IBC) de 1 m³ ;
- Le modèle à dôme flottant proposé en partenariat avec Biogasy.

Pour Madagascar, ARAFA préconise d'utiliser le modèle à dôme fixe (plus robuste) ou le modèle proposé en partenariat avec Biogasy (également robuste et fabriqué de manière artisanale et locale, présentée précédemment).

Nous ne présentons ici que le modèle à dôme fixe en béton armé. Le modèle déjà installé à Madagascar a un volume de cuve total de 4 m³ pour un stockage de biogaz maximum de 500 L. Afin d'optimiser le stockage de biogaz et mieux gérer sa consommation, l'entreprise propose une option de rajout d'un sac de stockage externe du biogaz. La surface nécessaire pour son installation est d'environ 15 m² mais le design peut être adapté à l'espace disponible. L'apport quotidien recommandé pour ce biodigesteur est de 30 L d'eau et 30 L de bouses. L'intérieur de la cuve est séparé par un mur suspendu.

La cuve principale est fermée hermétiquement par une dalle en béton horizontale.

ARAFA souhaite proposer des biodigesteurs de volumes différents avec les caractéristiques présentés ci-dessous.



Taille réservoir (m³)	4 m ³	8 m ³	12 m ³	18 m ³
Capacité biogaz (m ³)	2	8	12	18
Apport journalier requis en bouse (kg)	50-75	75-150	150-300	300-500
Apport journalier requis en eau (L)	40-50	70-100	115-150	170-250
Autres apports recommandés ? (déchets organiques (kg, urines (L)...)	Org ~20 Urin<10	Org ~40 Urin<20	Org ~70 Urin<35	Org ~100 Urin<50
Stockage digestat (digesteur + sortie + autre si prévu) (m ³)	5 m ³	9 m ³	14 m ³	20 m ³

La construction et mise en route d'un biodigester

Construction

Les matériaux de construction nécessaires à l'installation du modèle à dôme fixe en béton armé proposé par ARAFA sont du sable, du gravier, des briques en terre cuite, du ciment, de l'imperméabilisant, des barres de fer et des planches de coffrage. La construction nécessite également des rondins de bois pour la mise en place d'un échafaudage.

Elle s'effectue en trois phases principales.

- Phase 1 – étude : les techniciens de l'entreprise réalisent une étude du terrain (type de sol), du besoin du bénéficiaire et des ressources disponibles localement. Suit une phase de conception et d'adaptation du modèle si nécessaire. Enfin, les techniciens communiquent avec les bénéficiaires afin de les former au processus de digestion et de leur communiquer les apports en nature qu'ils doivent collecter ;
- Phase 2 – construction :
 - Installation du chantier (préparation des matériaux et matériels nécessaires à la construction, terrassement et fouille)
 - Travaux de maçonnerie et béton (dalle de fond, élévation des murs en briques avec mortier en ciment, enduit étanche, coulage de la dalle supérieure du biodigester - avec ferrailage et coffrage, construction des bacs d'entrée et de sortie)
 - Installation des traversées de paroi reliant les bacs d'entrée et de sortie à la cuve principale ;
- Phase 3 – essaie et mise en marche : des tests d'étanchéité et de fonctionnement sont réalisés à l'eau et à l'air comprimé.

La durée des travaux et le besoin en main d'œuvre dépend de la taille du réservoir construit.

Taille réservoir (m³)	4 m ³	8 m ³	12 m ³	18m ³
Nb maçons qualifiés	1	2	2	2
Nb main d'œuvre <i>non qualifiée</i>	4	6	8	12
Nb jours de travail (hors fosse)	16	20	28	32

Entretien et maintenance

Les installations proposées par ARAFA sont garanties 12 mois. En cas de problème durant cette période de garantie, le client peut joindre les techniciens de l'entreprise à distance pour essayer de réparer le problème par lui-même. Par ailleurs des pièces de rechange peuvent également être envoyées sans frais. Dans le cas où une intervention d'un technicien est nécessaire, seuls les coûts de transport sont facturés au client. Enfin, les pièces endommagées sous garantie peuvent également être amenées à l'atelier d'ARAFA pour être réparées ou échangées.

Les terminaux et autres matériels

Pour le bon fonctionnement des installations, ARAFA importe la tuyauterie nécessaire à l'acheminement du biogaz du réservoir aux terminaux avec un système d'épuration de la vapeur d'eau et du H₂S (sulfure) et un manomètre.

Concernant les terminaux de cuisson, ARAFA propose 3 modèles différents. L'entreprise sociale a réalisé des tests sur des modèles fabriqués à Madagascar en adaptant des systèmes conçus pour une utilisation avec du butane mais les rendements et la qualité obtenus n'étant pas concluants, elle a choisi de les commander et importer à l'entreprise PUXIN. Les 3 modèles proposés sont : un brûleur simple (370x410x130mm) qui consomme 0.450 m³/h, un brûleur double (730x410x130mm) composé de deux brûleurs simples et un brûleur simple plus grand (600x360x150mm) adapté aux marmites plus importantes qui consomment 2,5 m³/h. Des

ricecookers sont aussi proposés. Ces terminaux sont garantis un an et ont une durée de vie estimée à 8 ans.

L'entreprise propose également en option des sacs de stockage du biogaz pour augmenter la capacité de stockage du dôme fixe, avec un système d'accroche et de poids qui permet de stocker le sac au mur et d'augmenter la pression pour une meilleure utilisation des brûleurs, ou des pompes solaires qui facilitent l'utilisation du biogaz.

Enfin, ARAFA est en train de développer un modèle de cuiseur qui permettrait également la charge de téléphone afin de multiplier les valorisations possibles du biogaz à l'aide d'un unique terminal.

La valorisation du digestat

ARAFA souhaite faire du digestat un extrant aussi important que le biogaz produit par le biodigesteur auprès des paysans bénéficiaires. L'entreprise n'a pas encore réalisé d'analyse des digestats produits par leur biodigesteur. En revanche, deux membres de l'équipe ayant travaillé pour le projet LOOWATT (cf. description en Annexe 8.6.2) disposent d'une réelle expérience dans le domaine. En effet, LOOWATT a réalisé de nombreux tests et comparaisons des méthodes de valorisation du digestat avec l'utilisation d'engrais chimiques classiques (NPK), de compost et fumier traditionnels, etc. et les résultats obtenus étaient très satisfaisants. ARAFA est en cours de capitalisation sur l'utilisation du digestat de leurs bénéficiaires.

Lors de l'installation du réservoir, une formation complète est dispensée aux bénéficiaires sur la valorisation de la partie liquide qui s'écoule par un système de trop plein (arrosage 3 à 5 fois par saison ou utilisation pour le compost) et la partie épaisse du digestat (épandage direct, séchage au sol ou compostage). Un manuel pratique et adapté en fonction des cultures pratiquées est distribué aux clients pour assurer la bonne appropriation de ses techniques de valorisation du digestat, plus-value essentielle d'un biodigesteur.

Enfin, selon la configuration du client et des installations, ARAFA peut également proposer l'installation d'un filtre naturel à plantes horizontal directement relié à la sortie du biodigesteur. Cela permet alors le recyclage direct des nutriments en végétaux utiles aux paysans sans labour de transport du digestat. L'eau en sortie est épurée et peut être réutilisée pour diluer les bouses à introduire dans le biodigesteur.



Le mode de diffusion des biodigesteurs

ARAFA étant une entreprise, elle propose ses produits à des particuliers ou des projets menés par des ONGs.

Financement des biodigesteurs

Les clients particuliers formulent leur demande auprès de l'entreprise pour l'obtention d'un biodigesteur. ARAFA réalise un devis. Si le client l'accepte, il devra généralement payer 70 % du montant global à la commande. Dans certains cas, ARAFA souhaite réaliser de la R&D et propose alors aux clients de financer une partie des installations (*crowdfunding* ou fonds propres). En contrepartie, ce dernier s'engage à fournir des données et à suivre les protocoles de tests fournis par ARAFA.

Formation des clients

Lors de l'installation d'un biodigesteur, le client reçoit une formation sur l'entretien des installations, l'utilisation des terminaux de cuisson ainsi qu'à la valorisation du digestat. ARAFA propose également des manuels qui présentent les activités clés d'utilisation et de maintenance d'un biodigesteur (incluant la valorisation du digestat).

Suivi des installations

Une fois le biodigesteur installé et le client formé, ARAFA prévoit d'appeler ce dernier tous les 3 mois durant la première année (période de garantie) afin de s'assurer du bon fonctionnement et de la bonne utilisation du réservoir (ainsi que du biogaz et du digestat) et de renforcer la relation avec les clients. Ces appels permettent de capitaliser sur les problèmes rencontrés pour mettre en place une amélioration continue. Enfin, il permet également de communiquer sur les services après-vente proposés par ARAFA après la période de garantie.

- Envoi de pièces de rechanges avec les instructions ou par l'intervention d'un technicien facturés à l'unité ;
- Réalisation de visites régulières en fonction des besoins pour contrôler le bon fonctionnement et assurer les maintenances de base facturées annuellement.

Les partenaires d'ARAF

ARAF travaille en partenariat avec Bourbon Bâches (Réunion) pour l'approvisionnement en bâches mais également sur un projet de soudure de réservoirs souples pour du stockage de biogaz. L'entreprise est également partenaire de l'association Biogasy afin de capitaliser sur leurs expériences et s'associer pour la réalisation de projets.

Concernant les institutions, les Ministères concernés (Eau et Assainissement, Energie) sont sollicités pour des projets d'adduction ou de biogaz. L'ONE (Office Nationale de l'Environnement) est également impliquée dans le cas où l'obtention d'un permis environnemental est exigée. Enfin, les représentants des Communes et Fokontany sont systématiquement consultés afin d'obtenir leur approbation avant le lancement des travaux.

Les installations réalisées

ARAF a déjà installé 2 réservoirs à dôme fixe à Madagascar. Une installation pour son site vitrine à Antananarivo, ainsi qu'une installation du biodigester maçonné de 4 m³ pour un ménage à proximité d'Antananarivo. Un projet de biodigester à dôme fixe d'un volume de 10 m³ est en cours pour le CEFFEL à Antsirabe.

Par ailleurs, ARAFA a réalisé diverses missions de conseils à Madagascar pour des opérateurs et projets de déploiement de biodigesteurs comme pour le WHH (description du projet en Annexe8.6.3) et EAST.

ARAF a aussi une expérience plus globale sur des projets d'assainissement, comme l'établissement de schéma directeur d'assainissement en partenariat ou pour le compte d'entreprise étrangères (Hydroconseil, Hydraulique Sans Frontière). Enfin d'autres réalisations comme des stations d'épuration ou de pompage d'eau usées sur des projets d'assainissement industriel ou domestique ont été réalisées en partenariat avec SEE – Solution Eau Environnement (Maurice) sur des projets d'Eau et d'Assainissement de complexes immobiliers ou d'industries agroalimentaire.

Perspectives

ARAF a remporté, en partenariat avec l'entreprise Biogasy, l'appel d'offres de la première phase de déploiement du projet Biogaz DIANA mené par le consortium Etc Terra et OSDRM pour l'installation de 40 biodigesteurs de type Biogasy en 2018. D'autres projets sont en cours de lancement.

8.6 Description détaillées des projets biogaz

8.6.1 Les projets de réservoirs domestiques

Les projets de biodigesteurs domestiques menés par FAFABI et JIRO ont été présentés précédemment.

PAGE/GIZ

Présentation du projet PAGE

La GIZ, acteur majeur de la protection de l'environnement et du développement rural à Madagascar, a renforcé un Projet d'Appui à la Gestion de l'Environnement (PAGE) en 2015 dont l'objectif global est « l'amélioration des conditions pour une protection et utilisation durables des ressources naturelles à Madagascar par les acteurs pertinents ». Le projet intervient dans les régions DIANA, BOENY et ATSIMO ANDREFANA et a pour champs d'action stratégiques : (1) la protection et l'utilisation ressources naturelles visant à augmenter les revenus, (2) la professionnalisation et diffusion de la chaîne de valeur pour l'énergie en biomasse, (3) le renforcement du cadre politique, juridique et institutionnel et de planification pour l'utilisation durable des ressources naturelles, (4) l'amélioration de conditions environnementales et sociale dans l'exploitation minière artisanale et (5) le renforcement des capacités d'adaptation au changement climatique. Dans le contexte du champ d'action 2, la GIZ a mené une première phase bibliographique sur les énergies alternatives en combustibles (résidus agricoles, déchets organiques, etc.) et a décidé de déployer un projet de diffusion de foyers améliorés (détaillé en Partie 9.1.3) ainsi qu'une phase pilote de tests de faisabilité pour la diffusion de combustibles alternatifs dont la technologie biogaz et l'utilisation de briquettes produites à partir de poussière de charbon et de balles de riz dans la région DIANA.

Activités du projet

Identification des ménages et construction des biodigesteurs

Concernant la phase pilote d'installation de réservoir biogaz en DIANA, la GIZ a choisi de sélectionner 3 ménages dans une commune à proximité de Diego-Suarez sur des critères prédéfinis. Ainsi, le ménage devait (i) utiliser le bois ou le charbon pour la cuisson, (ii) posséder au moins deux zébus, (iii) disposer d'un terrain avec une surface suffisante pour l'installation du réservoir à proximité de son habitation, (iv) avoir la possibilité de s'approvisionner en eau toute l'année, (v) avoir des cultures à proximité de son habitation pour la valorisation de son digestat et (vi) être motivé et montrer son engagement pour contribuer à la construction, l'utilisation et la maintenance du biodigesteur.

Une fois les trois ménages sélectionnés, le projet PAGE a fait appel à l'entreprise ASENSE pour former les techniciens du projet à la construction des réservoirs. La formation n'ayant été que théorique sur la demande du projet, des problèmes de fissures sur les installations ont nécessité l'intervention des techniciens ASENSE pour leur réhabilitation et le lancement des réactions de méthanisation.

Le projet a financé la totalité des installations (matériaux et accessoires – 80 %, transport – 4 % et la main d'œuvre spécialisée- 16 %). Les ménages ont uniquement participé à la réalisation de la fosse et l'apport en eau pour l'initiation de la réaction.

Formation des bénéficiaires

Une fois les biodigesteurs installés, les ménages ont reçu une formation du projet pour leur permettre de comprendre le processus de production du biogaz, le mode d'utilisation des terminaux de cuisson ainsi que la valorisation du digestat.

Collecte des données et mesure d'impacts

Cette phase pilote a pour objectif de démontrer la valeur ajoutée d'une installation biogaz pour un ménage rural moyen de la région DIANA.

Le projet PAGE a mené des mesures de consommation de combustibles en amont des constructions pour évaluer la réduction de la consommation de bois. Des enquêtes de satisfaction et un suivi technique sont régulièrement menés auprès des ménages afin de connaître les difficultés rencontrées quant à l'utilisation du biodigesteur (remplissage, entretien), à l'utilisation des terminaux de cuisson et leur performance, etc. afin de mettre en place des solutions permettant de réduire ces risques pour une diffusion à plus large échelle.

La GIZ envisage de réaliser d'autres mesures (comme la consommation de biogaz, etc.) pour mesurer les impacts réels de la solution sur les ménages bénéficiaires. Un rapport de capitalisation

des résultats obtenus sur l'évaluation des impacts réalisés sur ces trois ménages devrait être publié d'ici la fin de l'année 2017 ainsi qu'une carte des zones à fort potentiel de la région DIANA.

8.6.2 Les projets de traitement des eaux ou boues de latrines

LOOWATT

Présentation générale et historique

Introduction de l'organisation Loowatt

LOOWATT est une entreprise sociale basée à Londres, RU, qui propose des systèmes de toilettes hygiéniques innovants qui n'utilisent pas d'eau et dont les excréments humains sont stockés hermétiquement dans une cartouche inodore dont les parois sont recouvertes d'un revêtement biodégradable. Ces excréments sont collectés une à deux fois par semaine et déversés dans un biodigester pour valorisation en biogaz et digestat.

En Europe, l'entreprise propose l'installation de toilettes lors de festivals, tandis que l'antenne à Madagascar propose l'installation de Toilettes publiques et individuelles.

Ainsi la solution proposée permet de fournir un service qui permette d'apporter une solution d'assainissement digne et confortable et de valoriser les excréments humains, matière première riche (valorisable en énergie et engrais) et inexploitée.

Historique de Loowatt à Madagascar

A Madagascar, depuis 2012, LOOWATT travaille à la diffusion de ses toilettes innovantes dans la commune urbaine d'Antananarivo. Pour recevoir des toilettes, le ménage réalise un prêt contre une caution prédéterminée selon le modèle de toilettes reçu.

Loowatt propose 3 modèles de toilettes :

- Toilettes « Roso » : utilisent un bio-polymère pour enfermer hermétiquement les dépôts dans les toilettes après chaque utilisation. Conçues avec un siège spécial pour les utilisateurs adultes et enfants.
- Toilettes « Milay » : conçues spécialement pour l'intérieur, non encombrant et facile à transporter et avec séparation d'urine.
- Toilettes « Tsiky » : Similaires aux toilettes Roso, mais ne peuvent être installées qu'en extérieur, dans les cours des ménages.

Compte tenu de cette activité de toilettes, LOOWATT a souhaité mettre en place un système de traitement des boues de latrines collectées à partir de leurs toilettes installées. Aujourd'hui, l'entreprise souhaite démontrer la faisabilité et la viabilité technico-économique d'un système d'assainissement semi-centralisé en zone urbaine via :

- L'installation de Toilettes hygiéniques innovantes chez les particuliers ;
- La mise en place d'un système effectif de collecte des excréta ;
- Le traitement des boues collectées par bio-digestion (site de traitement) ;
- La valorisation du biogaz en Electricité et en Chaleur ;
- La production et commercialisation d'engrais répondant aux normes internationales.

Présentation du projet de bio-digestion de Loowatt

Etapes de réalisation

Le déploiement du projet dans son ensemble s'est réalisé en 4 étapes principales.

- Etape 1 (2012) – prototypage : installation de toilettes publiques gérées par Loowatt avec un système intégré de digestion de 2 m³ et d'un centre de lombricompostage à petite échelle. Cette étape a été financée à 30 % par WSUP et 70 % par USAID.
- Etape 2 (2013) – installation pilote : installation de 3 toilettes publiques gérées par un particulier avec un biodigester en PEHD (3 m³) construit par Simgas qui valorisait les excréments des toilettes (35 %) et des ordures ménagères collectées aux alentours (30 %) mélangés avec de l'eau (35 %). Le biogaz était utilisé par le gestionnaire et le digestat récupéré par Loowatt pour lombricompostage et commercialisation auprès de paysagistes. Cette étape a été financée par Bill & Melinda Gate Foundation (BMGF).
- Etape 3 (2014-2015) – Déploiement d'un modèle semi-centralisé de traitement des boues de latrines : installation de 40 toilettes chez des particuliers à proximité de la station de traitement, mise en place d'un système de collecte des boues, optimisation de la gestion de la station de traitement existante créée par l'ONG EAST et gérée par le SAMVA ;
- Etape 4 (2016) - conception et construction d'un site de traitement propre à Loowatt : conception de la station de traitement par méthanisation en partenariat avec l'entreprise

Detong, recherche du terrain pour construction (obtention des permis relatifs à l'installation d'un centre de traitement) et construction du site.

Aujourd'hui, Loowatt traite les excréments collectés de 60 toilettes installées à proximité du centre de traitement et 500 kg de déchets organiques collectés à proximité chaque semaine. Le centre est maintenant dans une phase d'optimisation. L'objectif est de collecter un maximum de données chaque jour afin de concevoir, sur le long terme, un digesteur de moindre coût et d'optimiser la co-digestion des déchets humains et organiques d'un point de vue technique mais surtout économique.

Les bénéficiaires du projet

Le projet impacte des bénéficiaires

- Directs qui sont les ménages de la classe moyenne (salaire mensuel inférieur à 250 000 Ar) ainsi que les collecteurs Loowatt (emplois formalisés par l'entreprise) ;
- Indirects qui sont les utilisateurs du biogaz et de l'engrais produits par la station de traitement et commercialisés ainsi que les citoyens du voisinage qui bénéficient d'un environnement assaini par les activités du projet.

Le financement du projet

Loowatt étant en phase de recherche d'optimisation de son système semi-centralisé (installation de toilettes, collecte des boues et déchets organiques, traitement par digestion anaérobie, valorisation du biogaz et du digestat) mais également de rentabilité économique de ce dernier, l'entreprise a choisi de faire appel à une subvention de la Bill & Melinda Gates Foundation, et une subvention de la GSMA pour financer les installations (investissement) et le développement. En revanche, les opérations (location du terrain, salaires, frais généraux et de maintenance) sont financées via les activités de l'entreprise qui a des revenus via :

- Les services de collecte des boues des toilettes Loowatt ;
- La commercialisation du digestat et composts produits sur le site de traitement ;
- La vente d'électricité ou de biogaz ;
- Ses fonds propres sur les revenus générés par les toilettes événementielles au Royaume Uni.

Les partenaires du projet (Etape 4)

Partenaires opérationnels et techniques

- Detong⁴⁴ est une entreprise d'ingénierie environnementale chinoise spécialisée dans les technologies biogaz, les énergies biomasse et la protection de l'environnement. L'organisation, recommandée par la fondation Bill & Melinda Gates et sélectionnée sur appel d'offre, a été responsable de la fabrication en atelier du digesteur et du système de pasteurisation. Elle a également réalisé la mise en place du site (connexion des installations).
- SimGas⁴⁵ est une entreprise Néerlandaise créée en 2009 qui propose des systèmes biogaz modulaires et domestiques essentiellement en Afrique de l'Est. Dans le cadre du projet, l'entreprise a été partenaire technique pour le développement d'une solution technique adaptée à la co-digestion des déchets humains et organiques. Le projet leur a permis de développer un nouveau modèle.

Partenaires institutionnels

- La SAMVA⁴⁶ (Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo) est un EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial) placé sous l'autorité de la Commune Urbaine d'Antananarivo. Elle est responsable de l'assainissement urbain sur la commune urbaine d'Antananarivo, l'exploitation et de la maintenance des ouvrages et équipements d'assainissement de la ville d'Antananarivo, incluant notamment les trois volets : eaux usées, ordures ménagères, produits de vidange. La SAMVA a accepté le projet et apporté un appui institutionnel au projet.
- ONE⁴⁷ (Office National pour l'Environnement) doit prévenir des risques environnementaux dans les investissements publics et privés et lutter contre les pollutions, gérer le système

⁴⁴<http://www.chengdu-detong.com/en/>

⁴⁵<http://simgas.org/> ou <http://www.simgas.com/>

⁴⁶<http://www.mineau.gov.mg/organismes-rattaches-2/samva/>

⁴⁷<http://www.pnae.mg/>

d'informations environnementales et suivre et évaluer l'évolution de l'environnement pour faciliter les prises de décisions et fournir les labellisations et certifications environnementales. Dans le cadre du projet, l'ONE a donc délivré le permis environnemental à LOOWATT.

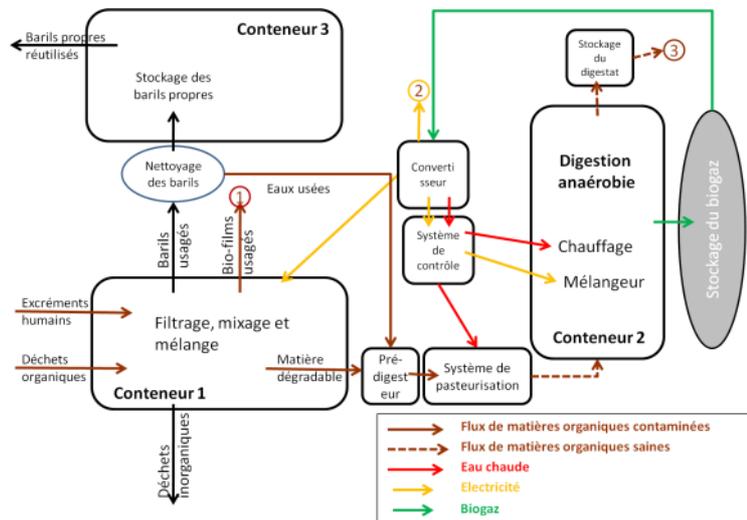
- la [FOFIFA](#) (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural) et le LRI (Laboratoire Radio-Isotopes) d'Andraisoro ont réalisé les analyses des digestat, notamment sur leur composition en nutriments ;
- le [CNRE](#) (Centre National de Recherches sur l'Environnement) a réalisé les analyses du digestat notamment sur la présence de pathogènes ;
- Le Ministère de l'eau appuie le projet de Loowatt au niveau des dédouanements lors d'importation ou de régulation.
- Université de d'Antananarivo a proposé des stages à plusieurs étudiants pour appuyer le projet sur les recherches du projet, notamment sur la réalisation de tests sur l'amélioration des sols par la valorisation des digestat et compost produit par le site de traitement des boues de vidange.

Quelques aspects techniques du site de traitement Loowatt

Les installations

Loowatt a choisi d'installer un site de traitement amovible hors sol composé de 3 conteneurs standard de 20 pieds.

Le conteneur 1 permet de récupérer les excréments humains stockés dans les barils collectés auprès des toilettes Loowatt et de les séparer des bio-films compostés sur le site avec de la paille de riz et le digestat. Les déchets organiques collectés (30 %) sont déchetés puis ajoutés aux excréments (40 %) et eaux usées du site (30 %) avant d'être accueillis dans une première cuve



de pré-digestion de 5 m³ en PEHD. Ce mélange est ensuite pasteurisé (au-dessus de 70°C) dans une cuve en inox de 5 m³ puis refroidi dans une cuve de refroidissement en inox.

Le conteneur 2 accueille la cuve principale de méthanisation de 24 m³ en inox dans laquelle la matière pasteurisée est introduite, mélangée et maintenue à température (35 à 38°C) pour optimiser le procédé de digestion anaérobie. Le site est dimensionné pour avoir un temps de rétention de 35 jours. Le biogaz produit (environ 10 m³ par jour) est stocké dans un sac



en PVC de 30 m³ placé au-dessus du conteneur. Il est valorisé par l'intermédiaire d'un co-générateur et d'un système de contrôle du site qui produit de l'électricité (alimentation du conteneur 1, le mélangeur du conteneur 2) et de la chaleur (pasteurisation et chauffage de la cuve principale). Le digestat est ensuite stocké dans une cuve de maturation identique à la cuve de pré-digestion. Ce dernier est alors directement commercialisé sous forme liquide (50 %) ou composté avec de la paille de riz sur le site avant d'être commercialisé ou lombric-composté puis commercialisé. Le conteneur 3 est utilisé pour la logistique des bidons de vidange propre et pour la gestion informatique du site.

Actuellement, le centre de traitement Loowatt traite près de 1.5 tonnes d'intrants par semaine mais souhaite atteindre 6 tonnes pour optimiser la production et mieux rentabiliser les installations.

Analyses

Un ingénieur agronome est chargé de la production de ces composts et des analyses (tests pathogènes, nutriments, pH, etc.) réalisé auprès de FOFIFA, du LRI et du CNRE afin d'assurer la qualité des engrais produits.

Enfin, des essais sont réalisés afin de démontrer l'augmentation des rendements grâce à l'utilisation des composts et du digestat liquide.

- Les produits commercialisés auprès de l'IMV (pour la culture de brèdes sur table) et de Paradise Garden (culture de fleurs) et bien d'autres pépiniéristes, ont permis, selon ces derniers, d'augmenter les rendements et de favoriser la floraison ;
- Des travaux d'expérimentation sont en cours avec la collaboration d'agriculteurs sur des parcelles de riz, maïs, haricots, concombres, betteraves, et courgettes. Les trois types de composts produits sont testés (digestat liquide, compost, lombricompost) à des doses différentes (30 %, 60 % et 100 %). Les rendements seront également comparés à ceux obtenus avec l'utilisation d'engrais chimiques de type NPK. Les résultats sont en attente.

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

Actuellement, le site de traitement est géré par l'entreprise sociale elle-même. Il n'est pas prévu qu'un transfert de compétences soit organisé pour le moment. A terme, le site pourra par exemple être géré par une institution (SAMVA ou Université) ou par une ONG présente sur le long terme (IMV ou WSUP).

Loowatt mène ce projet dans l'objectif de démontrer la rentabilité d'un système de traitement des boues de latrines semi-centralisé. Ainsi, tout est mis en œuvre pour rechercher les solutions optimales à la durabilité du projet (aspects technique et économiques, sociaux et environnementaux) afin de pouvoir être répliqué à plus grande échelle.

GRET / ENDA OI

Historique et Présentation du GRET et ENDA OI à Madagascar

Présent à Madagascar depuis 1997, le GRET travaille sur des projets de malnutrition infantile (Nutrimad et Nutri'zaza – entreprise sociale de restaurants pour bébés) dans les quartiers défavorisés d'Antananarivo et depuis 2008 sur des mécanismes durables d'accès à l'eau et à l'assainissement.

Depuis 2010, le GRET s'est associé avec l'organisation Enda Océan Indien (présent à Madagascar depuis 1996 et travaillant sur l'amélioration de l'environnement urbain – assainissement, habitat social, l'éducation alternative, la formation et la prévention des violences conjugales) dans l'optique de déployer un projet de traitement des eaux usées et excréta dans les quartiers défavorisés d'Antananarivo.

Historique et présentation du projet

Le GRET et Enda OI ont donc lancé en Mars 2012 le projet MIASA (Mise en oeuvre d'Amélioration des Services d'Assainissement adaptés à l'agglomération d'Antananarivo) en partenariat avec les Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA), de Tanjombato et d'Ampitatafika et les 5 Fokontany d'intervention. L'objectif spécifique du projet était d'« Améliorer les conditions sanitaires et environnementales dans les quartiers défavorisés d'Antananarivo en agissant sur l'ensemble de la filière d'assainissement ».

Les résultats attendus du projet étaient :

- De donner accès à 5000 ménages à une offre adaptée d'assainissement de base (toilettes, vidange, traitement) ;
- D'organiser une solution d'évacuation et de transport des boues de latrines par la mise en place de fédérations autonomes, viables et reconnues de 30 vidangeurs (formation et appui technique et organisationnel de vidangeurs) ;
- D'assurer le traitement et la valorisation des boues de vidange par la technologie de méthanisation en partenariat avec les autorités locales et la société civile locale.

ENDA OI était chargée d'accompagner les vidangeurs tandis que le GRET, porteur du projet, était responsable de la mise en place des stations de traitement des boues de vidange.

Etapes de réalisation

La première phase du projet a consisté à trouver des terrains pour installer les stations de traitements et obtenir des permis environnementaux pour la construction des installations de bio-digestion. Cette étape s'est avérée très difficile pour le projet compte tenu des problèmes fonciers très importants à Antananarivo et de la difficulté d'obtention des permis environnementaux. Par ailleurs, les stations de traitement devaient être installées dans des zones où les ménages étaient prêts à payer une redevance pour la vidange de leurs toilettes.

Une fois les terrains identifiés et les permis obtenus, le GRET a

lancé un appel d'offre auprès des opérateurs biogaz afin de réaliser la formation d'entrepreneurs locaux à la construction des réservoirs. L'entreprise Bio-Eco, constituée de plusieurs partenaires et essentiellement présente en Afrique de l'Ouest a remporté le marché et formé plusieurs professionnels à la mise en place des stations de traitement par le processus de bio-digestion.

Par la suite, le GRET, en partenariat avec Bio-Eco a suivi les chantiers de construction des stations. Le matériel installé a été importé par le GRET de Chine auprès du fournisseur PUXIN. Enfin, les membres de l'équipe du projet MIASA ont accompagné les gestionnaires et techniciens des stations pour la gestion financière et technique des sites.

Le projet a pris fin en Décembre 2016. Mais le GRET souhaite continuer l'accompagnement des gestionnaires de site car les installations ne sont malheureusement pas encore viables économiquement. Des solutions innovantes doivent être mises en place pour permettre leur pérennisation sur le long terme.

Bénéficiaires

Les bénéficiaires directs du projet dans son ensemble sont :



- Les vidangeurs informels qui sont formés, accompagnés dans la formalisation de leur activité et reconnus au niveau des communes d'intervention ;
- Les gestionnaires des stations de traitement qui bénéficie d'un emploi, d'une formation et d'un accompagnement dans la prise en main de la gestion du site ;
- Les Communes et Fokontany d'intervention qui bénéficient de l'installation d'une station d'épuration et donc d'une solution durable d'assainissement.

Les bénéficiaires indirects sont principalement les ménages des zones d'intervention qui disposent désormais d'une solution durable et formelle de vidange de leurs latrines ainsi que d'un environnement plus propre.

Financement

Le projet était financé par l'Union Européenne, le Grand Lyon, Véolia eau et l'AFD avait un budget global de 750 000 euros.

Aujourd'hui, les taxes payées par les vidangeurs pour avoir le droit de déposer les boues collectées à la station d'épuration ne suffisent pas à pérenniser financièrement les installations et les communes ne participent pas aux coûts des opérations. Le GRET souhaite donc trouver des solutions (comme la commercialisation du digestat) pour atteindre leur objectif de viabilité.

Partenaires

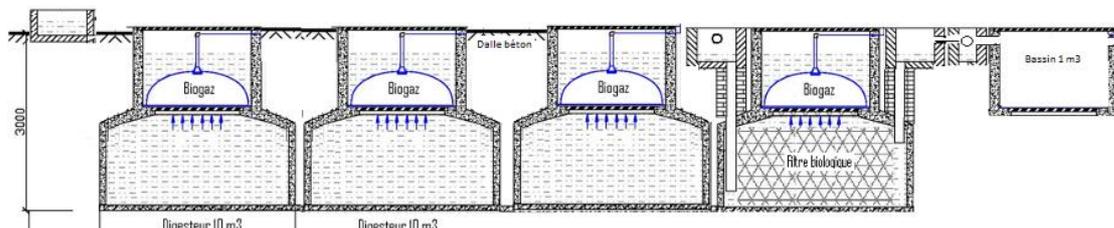
Les partenaires opérationnels du projet dans son ensemble étaient :

- ENDA OI qui était principalement responsable de la formation, accompagnement et formalisation des vidangeurs ;
- Les Communes d'intervention étaient en appui au transfert de compétences financières et techniques des gestionnaires de site ainsi qu'à l'appui à la maîtrise d'ouvrage communale par le renforcement d'agents et techniciens dans chaque commune (formés par le GRET).

Quelques aspects techniques des installations réalisées

Les installations

Les stations d'épuration installées par le projet MIASA sont chacune constituées de 4 biodigesteurs maçonnés enterrés (construits à partir d'un moule) de 10 m³ à dôme fixe (cloche en fibre de verre de 1,2 m³ chacune) selon la technologie PUXIN. Les trois premiers biodigesteurs sont connectés pour recevoir les boues de latrines déversées dans le bac de remplissage. Le 4^{ème} est relié à chacun de ces biodigesteurs par effet gravitaire et permet un traitement raffiné des eaux par un système de filtre biologique (matière plastique de forte surface spécifique 300 m²/m³). Le bassin de stockage en sortie du 4^{ème} biodigesteur a un volume de 1 ou 2 m³ selon les sites.



Le projet a fait le choix de cette technologie discontinue (la vidange est réalisée à chaque remplissage de la cuve, après la durée de maturation souhaitée) car elle est facile à entretenir et permet d'avoir une pression suffisante qui ne nécessite pas l'utilisation d'une pompe. Le matériel autre que les matériaux de construction ont été importés par le GRET.

Les intrants sont les boues de vidange collectées et livrées par les vidangeurs formés par le projet et qui ont bénéficié de matériel (pompes, moyen de transport, etc.) grâce au projet. Lorsque ces boues ne sont pas suffisantes pour alimenter le système, des bouses ou lisiers peuvent également être collectés chez les éleveurs à proximité des stations.

La valorisation du biogaz et du digestat

Le biogaz produit est actuellement valorisé sur le site pour l'éclairage et la cuisson du gardien.

La phase liquide du digestat récupérée dans le 4^{ème} biodigesteur est diluée et rejetée dans les cours d'eau avoisinant. Des analyses sont régulièrement réalisées pour vérifier le respect des

normes. La phase solide du digestat est séchée par l'intermédiaire de séchoirs solaires. Des analyses réalisées en laboratoire montrent que la qualité de ce digestat est bonne. Ce digestat a déjà été utilisé à petite échelle par le projet mais le GRET souhaite maintenant trouver des solutions pour commercialiser ce compost et rentabiliser les opérations des stations d'épuration.

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

Les vidangeurs formés par le projet ont bénéficié du matériel de collecte ainsi que d'une formalisation auprès des communes d'intervention (autorisations et agréments). Aujourd'hui, ils sont indépendants via le paiement des ménages pour la collecte de leurs boues.

Concernant les stations d'épuration, le GRET a formé, pour chacune d'entre elle, un gestionnaire et technicien de site responsable du suivi financier et technique. Durant le projet, des visites régulières étaient organisées pour accompagner ces gestionnaires privés.

Cependant, les stations ne recevant pas d'autres revenus que les taxes payées par les vidangeurs (qui ne suffisent pas à l'équilibre financier de la station), le GRET souhaite trouver de nouveaux financements pour continuer l'appui aux gestionnaires et mettre en place des solutions (commercialisation de la phase solide du digestat) afin d'obtenir des nouvelles sources de revenus en continu.

EAST

Présentation et historique

EAST (Eau, Agriculture et Santé en milieu Tropical) est une OSI (Organisation de Solidarité Internationale) créée en 1986 dont l'objectif principal est d'aider les collectivités rurales et périurbaines d'Afrique (Mali, Sénégal, Bénin, Togo, Madagascar) et d'Asie (Vietnam) à faire régresser les grandes endémies liées à la consommation d'eau insalubre et au manque d'hygiène. Présente à Madagascar depuis 2006, EAST intervient principalement dans le domaine de l'accompagnement sanitaire et social de la Commune Urbaine (CU) d'Antananarivo au travers de projet d'infrastructure (bornes fontaines, bassins lavoirs, WC, latrines communautaires, etc.), d'information et d'Education et Communication (sensibilisation de la population à l'hygiène, etc.)

De 2006 à 2016, EAST a travaillé sur plusieurs projets d'assainissement et d'amélioration de la qualité de l'eau et de l'environnement du lac Masay et des quartiers périphériques des III, IV et Vèmes arrondissements d'Antananarivo en partenariat avec la Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA) et l'Institut des Métiers de la Ville (IMV – coopération décentralisée entre la CUA et la Région Ile-de-France). Les objectifs principaux de ces projets étaient :

- Améliorer les conditions de vie de la population via l'accès à l'eau potable et mise en place d'un système d'assainissement local ;
- Améliorer le bien-être des résidents par le biais de l'installation de nouveaux équipements sanitaires et l'organisation d'un ramassage des ordures ménagères ;
- Améliorer la santé des habitants via des campagnes de sensibilisation et de prévention sanitaire ;
- Améliorer la salubrité générale des environs du lac Masay.

A partir de décembre 2016, l'ONG a commencé le développement d'un projet d'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) en partenariat avec la Commune Urbaine d'Antsirabe, sur les thèmes de l'eau, l'hygiène et l'assainissement des quartiers précaires de la ville. Ce projet a pour objectif l'amélioration de l'accès à l'eau et à l'assainissement, l'amélioration de la gestion des ordures (par l'implantation de 3 stations de traitement et valorisation des déchets), la promotion de l'hygiène en vue de changements de comportements, et l'amélioration de la gestion des infrastructures communales.

Projets de station de traitement des boues de vidange

Nous ne présenterons ici que les activités liées à la collecte des boues de vidange et leur traitement par méthanisation. Dans ce domaine, EAST a mené deux projets de mise en place de traitement de boues de latrines par méthanisation à Antananarivo :

- En 2013, une station de traitement et valorisation des matières de vidange, munie d'un réservoir de 30 m³ dans le quartier de Manjakaray, au nord d'Antananarivo, près du lac Masay (*Projet 2013*, financement AFD et la Région Ile-de-France) ;

- En 2016, une station de traitement et valorisation des matières de vidange, munie de 5 réservoirs de 10 m³ à Ambatomaro. (*Projet 2016*, financement Région Ile-de-France et Agence de l'Eau Seine Normandie)

Etapes de réalisation

Pour chacun de ces deux projets, EAST a dû trouver des emplacements adéquats pour l'implantation de ces stations. Après obtention du permis environnemental (délivré par l'ONE), la construction a été sous-traitée à des entreprises locales, sélectionnées par appel d'offres. Par la suite, la gestion des stations a été confiée au SAMVA. La collecte et le transport des boues de latrines ont été délégués à des associations ou entreprises locales spécialisées. Ces dernières ont bénéficié d'un renforcement de capacités, de formations et de matériels adéquats (des pompes, des citernes, des matériels de protection individuels, etc.).

Projet 2013

Ce premier projet a été monté en collaboration avec EAST et le Centre National de Recherche Industrielle et Technologique (CNRIT). La construction s'est effectuée entre 2012 et 2013 par l'intermédiaire d'une entreprise de travaux public.

EAST a choisi de gérer cette station de traitement pendant un an et demi afin de bien maîtriser tous les aspects et organiser un transfert de compétences complet avec le SAMVA qui est aujourd'hui seule responsable de la gestion du site. Ainsi, des formations techniques et de gestion financière et administrative ont été menées auprès du gardien et du technicien de site pour assurer le fonctionnement et le suivi de la station.

Projet 2016

Le constructeur sélectionné pour le projet mené en 2016 était une entreprise formée par le projet mené par le GRET (description du projet mené par le GRET en Annexe 8.6.2) en partenariat avec BioEco⁴⁸. EAST a contractualisé avec BioEco pour l'obtention des plans, des conseils de construction et pour le suivi travaux. Le matériel biogaz a été commandé auprès de l'entreprise ASENSE (décrite en Annexe 8.5.2). La construction de cette unité a duré plus d'un an (en raison de difficultés lors des travaux) pour s'achever en septembre 2016. Enfin, la station a été mise en service pour une période de test à partir de janvier 2017 avec le SAMVA et une entreprise de vidange (Entreprise Rodain) formées par l'IMV et la Fondation Practica.

Bénéficiaires

Les bénéficiaires de ce projet sont principalement les ménages des quartiers ciblés d'Antananarivo du III^{ème} et V^{ème} arrondissements (adduction d'eau potable, assainissement des quartiers, sensibilisation, etc.) ainsi que les associations de vidangeurs (professionnalisation, formalisation, etc.). Par ailleurs, le projet impacte la Commune Urbaine d'Antananarivo (augmentation des ouvrages hydro-sanitaires communaux) et ses différentes directions, les institutions locales (renforcement des capacités) et le SAMVA qui est aujourd'hui l'opérateur des installations d'assainissement fonctionnelles.

Partenariats

Partenaires financiers

Les partenaires qui ont financé les deux projets sont l'AFD, le Région Ile-de-France et l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN). Les fonds alloués ont permis de financer l'investissement immobilier, le matériel de la station ainsi que pour la mise en place de la gestion.

Partenaires opérationnels

Les deux projets ayant été réalisés à Antananarivo, EAST a travaillé en partenariat avec la l'IMV, la Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA) et ses différentes directions, le Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène (MEAH) et les Fokontany des III^{ème} et V^{ème} arrondissements. Enfin, le SAMVA, en tant que responsable de la gestion des stations, fait aussi partie des partenaires et bénéficiaires.

Quelques aspects techniques des installations réalisées

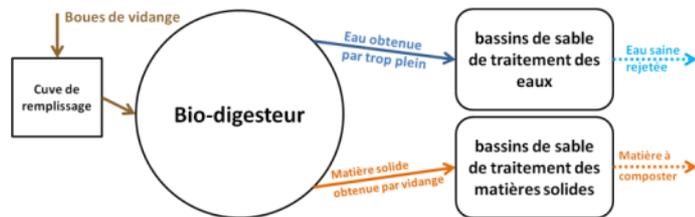
L'objectif principal des installations réalisées par EAST est le traitement des boues de vidange par un processus de fermentation anaérobie dans des biodigesteurs qui permet principalement l'élimination des germes pathogènes des boues de latrines. Le digestat obtenu est valorisé en compost qui est commercialisé pour assurer la rentabilité du service. Les eaux de rejet doivent être correctement traitées afin d'être réinjectées dans le système de traitement ou rejetées dans

⁴⁸<http://www.bio-e-co.fr/index.php>

l'environnement sans pollution. Le biogaz produit en faible quantité (à cause du faible pouvoir méthanogène des boues de latrines qui restent trop longtemps en fosse des latrines des clients) est valorisé sur le site.

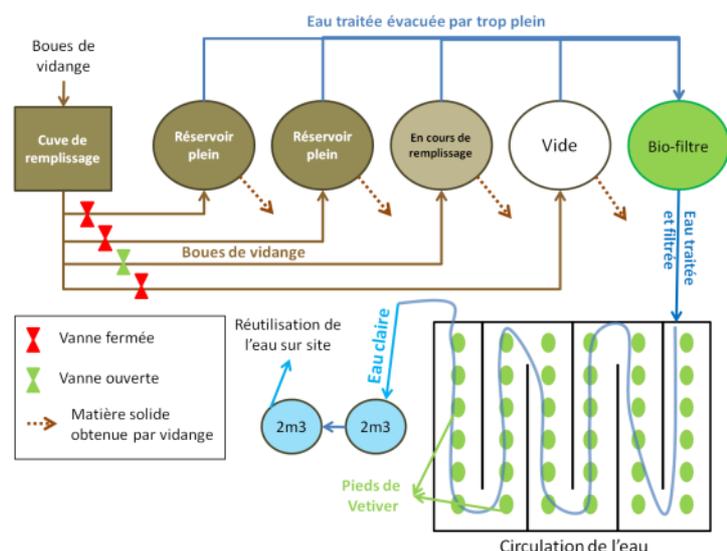
Projet 2013

Cette station de traitement des boues de latrine est composée d'un unique réservoir de 30 m³ hors sol et de filtres à sable qui filtrent la phase liquide et la phase solide du digestat obtenues par système de trop plein. Une cloche en métal située au-dessus du digesteur permet la récupération du biogaz produit par la fermentation des boues. Ce modèle a été choisi à cause des contraintes foncières très fortes à Antananarivo (place occupée par le réservoir réduite) ainsi que pour la facilité d'entretien. Le site a été dimensionné pour traiter 400 m³ de boues de latrines par an.



Projet 2016

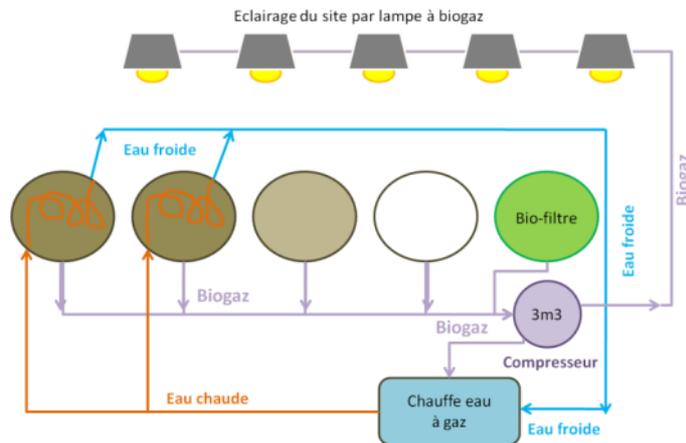
La station d'épuration, située dans le Fokontany d'Ambatomaro est constituée de 4 biodigesteurs en parallèle et d'un biodigesteur équipé d'un bio-filtre en sortie. Ces réservoirs maçonnés enterrés, ont une capacité de 10 m³ et sont dotés d'une cloche fixe pour la récupération du biogaz. Les boues sont mélangées avec de l'eau et déversées dans la cuve de remplissage. Elles sont aiguillées par un système de vanne dans chacun des réservoirs. Une fois plein, chaque biodigesteur est isolé pendant 1 à 2 mois pour laisser le processus de fermentation se terminer avant d'être vidangé. La partie liquide sera évacuée par trop plein dans le bio-filtre (composé de lanières plastiques qui servent de support pour les bactéries épuratrices) puis acheminée vers un bassin filtrant de 50 m³, planté de vétiver (plante ayant des capacités épuratrices), qui permet le dépôt des matières en suspension et l'absorption des nutriments restants (DBO₅, DCO, azote, phosphore). Ce bassin est composé de 5 chicanes pour augmenter le temps de séjour des eaux de rejets et ainsi augmenter la capacité de ce post-traitement. Enfin, l'eau ainsi traitée est recueillie par trop plein dans deux réservoirs d'eau « claires » et sera réutilisée sur site pour limiter les rejets dans l'environnement (nettoyage du site et dilution des boues en entrée). La phase solide est récupérée lors des vidanges des biodigesteurs, lorsque s'arrête la production de biogaz. Cette dernière est co-compostée sur le site avec des vétivers présents autour du site et dans le bassin filtrant. Le compost ainsi obtenu pourra être revendu à des structures pratiquant le reboisement, l'agroforesterie ou des pépinières.



Par ailleurs, le biogaz obtenu est récupéré par l'intermédiaire d'un réseau de tuyaux. Ce dernier est épuré via un filtre à eau et un filtre à soufre et stocké par l'intermédiaire d'une pompe. Le biogaz ainsi stocké peut ensuite être utilisé pour :

- Eclairer la station d'épuration à l'aide de lampes à biogaz.

- Chauffer l'eau d'un circuit fermé grâce à un chauffe-eau biogaz. Cette eau chauffée à 60°C est alors acheminée vers les deux premiers biodigesteurs grâce à l'utilisation d'une pompe à eau. Elle permet d'augmenter de quelques degrés la température à l'intérieur des biodigesteurs et donc améliorer l'efficacité des bactéries épuratrices. Le traitement est ainsi accéléré et la capacité du site augmentée.



Le modèle économique des stations de traitement

EAST, l'IMV et Practica souhaitent que les stations mises en place soient autonomes et viables sur le long terme.

- Les vidangeurs qui collectent les boues auprès de clients particuliers sont rémunérés par ces derniers pour service rendu. Ils choisissent eux-mêmes leurs prix de prestations.
- Les vidangeurs ont l'obligation de déposer les boues sur les sites de traitement et doivent payer une taxe de dépôt au SAMVA. Cette taxe est fonction des coûts d'exploitation des stations et est généralement comprise entre 10 000 et 13 000 Ar par m³.

Par la suite, la station traite les eaux usées, valorise le biogaz pour le site et le digestat en compost en vue d'une commercialisation. La clé de l'opération réside donc dans la possibilité de revente du compost qui permettrait d'améliorer la rentabilité des stations. En effet, la revente du compost permettrait de baisser le montant de la taxe de dépôt et donc le montant des prestations de vidange ce qui impliquerait une augmentation de l'accessibilité du service à un plus grand nombre.

Projet 2013

Pour le premier projet mené en 2013, le biogaz est valorisé sur site pour la cuisson des repas du gardien. Le compost produit est encore difficile à revendre auprès des ménages qui pratiquent l'agriculture à cause de blocages culturels et psychologiques. Le SAMVA, responsable de la gestion de ce site, cherche donc activement des partenaires pour la reprise de ce compost.

La collecte et le transport des boues de latrines, avaient été confiés à une association de vidangeurs (initialement informels) spécialement formée pour ce projet. Cependant, cette dernière a dû être dissoute en raison de la taxe de dépôt à la station trop élevée pour assurer la viabilité de leurs activités. Depuis, le SAMVA a créé son propre service de vidange responsable de la collecte, du transport et de l'approvisionnement en boues à la station.

Projet 2016

Pour ce projet, le SAMVA est également responsable de la gestion de la station mais l'IMV et la Fondation Practica ont contractualisé avec une entreprise de vidange déjà existante pour s'occuper de la collecte et du transport des boues de vidange. Cette entreprise a été formée au fonctionnement de la station, à la gestion financière, aux règles d'hygiène imposées par le Code de l'Eau et le Code Municipal d'Hygiène et s'est vue octroyer un nouveau set de matériels de vidange ainsi que des équipements de protection.

La station ayant été démarrée en janvier 2017 et n'étant pas encore totalement fonctionnelle il est difficile d'évaluer son équilibre financier.

Les enjeux majeurs

Même si les stations parviennent à commercialiser le digestat, leur rentabilité reste difficile et un soutien financier des Communes devraient être envisagé. En effet, les services rendus par ces stations de traitement permettent d'améliorer la salubrité des quartiers et donc la santé publique ce qui augmente l'activité économique de la ville.

Par ailleurs, bien qu'un Code de l'Eau et un Code de l'Hygiène existent, ils ne sont pas suffisamment appliqués et les pratiques des vidangeurs pas assez contrôlées et pénalisées par les Communes qui manquent souvent de moyens pour cela. En conséquence, les vidangeurs informels continuent de déverser les boues dans les canaux ou lacs avoisinant sans payer de taxe.

Ainsi, il est nécessaire de trouver des solutions pour réduire les taxes de dépôt des boues de latrines à la station (revente du compost, subvention des Communes) et augmenter la pénalisation des pratiques informelles polluantes pour formaliser la filière de traitement des boues de latrines et élargir l'accès de ces solutions au plus grand nombre de ménages.

WSUP/CARE

Présentation générale et historique du projet

Depuis sa création en 2005, WSUP (Water and Sanitation for the Urban Poor) travaille à l'amélioration de l'accès à l'eau et aux services d'assainissement en milieu urbain en renforçant les acteurs locaux (municipalités, secteur privé, associations, etc.) pour développer leurs services, construire de nouvelles infrastructures et attirer des fonds et assurer la viabilité des solutions mises en place. A Madagascar⁴⁹, l'organisme œuvre à l'accès à des services d'eau et d'assainissement essentiellement en milieu urbain (Antananarivo, Mahajanga et Tuléar) et a pour objectif d'ici 2020 d'impacter 1 million de personnes.

Parmi les projets déployés par l'organisme, un projet de traitement des déchets de la Commune d'Antananarivo est mené en partenariat avec l'ONG CARE⁵⁰ depuis 2013. Il s'agissait de mettre en place des solutions pour la gestion intégrée des déchets solides (réseau de pré-collecteurs pour acheminer les déchets dans les bacs de la SAMVA) et des déchets liquides (construction de latrines, professionnalisation de vidangeurs et construction d'un site de traitement par digestion anaérobie). Nous ne détaillerons ici que la partie déchets liquides du projet.

Présentation du Projet de biodigesteur

Etapas de réalisation

Dans un premier temps, WSUP et CARE ont recherché un terrain adapté à l'installation du site de traitement. Cette étape, très difficile, a retardé le projet à cause des problèmes fonciers de la capitale ainsi que la difficulté d'obtenir les permis environnementaux nécessaires à l'installation d'un site de traitement des boues de latrines.

Les associations de vidangeurs ont été formées et ont reçu du matériel pour assurer leurs activités de collecte des boues de latrines auprès des ménages. Ces derniers ont été également accompagnés pour l'obtention de leurs permis de travail et l'adaptation de leurs activités selon les réglementations en vigueur auprès de la Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA).

Une fois le terrain (qui appartient désormais à l'Etat Malagasy) sélectionné et les permis environnementaux obtenus, le projet a choisi de faire appel à Artelia et à l'entreprise Rindra pour la construction de la station et à l'entreprise sociale Sistema.bio (présentée en Partie 8.5.5) pour la fourniture des équipements de traitement des boues de vidange. La technologie proposée (réservoirs flexibles) semblait la plus adaptée et la moins coûteuse compte tenu du site et des contraintes temps du projet. En Novembre 2016, durant 12 jours, les techniciens de Sistema.bio ont pu installer les équipements, initier la réaction à l'aide de bouses de zébus et assurer la formation du gardien du site.

Depuis Janvier 2017, la station de traitement est fonctionnelle grâce aux livraisons des boues de latrines collectées par les vidangeurs. Ainsi, les ménages paient des frais auprès des vidangeurs pour qu'ils collectent leurs boues de vidange et les vidangeurs paient une taxe auprès de la SAMVA (opérateur de la station de traitement) pour assurer le fonctionnement du site.

Bénéficiaires

Les bénéficiaires de ce projet étaient :

- Les associations de vidangeurs qui ont reçu des formations, du matériel et un appui pour formaliser leur activité auprès des institutions ;
- La Commune Urbaine d'Antananarivo qui est le Maître d'Ouvrage et ayant bénéficié de l'ensemble des activités du projet ;
- Les ménages des zones ciblées par le projet bénéficient d'un système de tri des déchets ainsi qu'une facilité de paiement pour l'acquisition de latrine améliorée ;
- Les maçons qui ont participé à la construction des latrines sont professionnalisés et opérationnels ;
- La SAMVA qui est le gestionnaire du site de traitement des boues de vidange ayant reçu des formations pour assurer l'opération du site.

⁴⁹<http://www.wsup.com/programme/where-we-work/madagascar/>

⁵⁰<http://www.carefrance.org/care-actions/programmes-monde/pays-intervention/madagascar.htm>

Financement

Le projet a été financé par la Facilité d'Innovation Sectorielle pour les ONG (FISONG⁵¹) de l'AFD.

Partenaires

Le projet était coordonné par CARE et exécuté en partie par WSUP. Le Maître d'ouvrage était la CU d'Antananarivo. Artelia, Sistema.bio et l'Entreprise Rindra sont les prestataires qui travaillé pour les études technique et environnementale, la construction du site de traitement, le lancement de la réaction de méthanisation ainsi que la formation des techniciens et opérateurs locaux du projet. La SAMVA est aujourd'hui l'opérateur du site de traitement des boues de latrines construit par le projet. L'association des vidangeurs Zotompo collecte les boues de latrines chez les clients et les transporte jusqu'au site de traitement.

Quelques aspects techniques des installations réalisées

Les installations

Le site de traitement est composé de quatre digesteurs formés de tubulaires en bâche de 40 m³ chacun assurant ainsi une capacité globale de 160 m³ et une capacité de traitement mensuelle de 60 m³. Chaque digesteur est connecté au suivant par un tuyau plastique permettant de déverser le digestat dans la cuve suivante en système de trop plein. Un tuyau flexible connecté au sommet de chaque flexible permet la récupération du biogaz qui est filtré avant d'être utilisé sur le site.

Une cuve de remplissage permet de déverser les boues de vidange amenées par les vidangeurs dans les cuves.

Des bassins de décantation à titre de traitement secondaire, remplis par système de trop plein en sortie du dernier réservoir accueillent la partie liquide du digestat.

Enfin, un local permet de stocker les bidons livrés par les vidangeurs et de suivre les activités du site

Actuellement, seuls 17 m³ de boues (soit 28 % de la capacité de traitement totale) sont traités par mois du fait de la demande encore trop faible en collecte.

Valorisation du biogaz et du digestat

Pour le moment, le biogaz produit (environ 6 m³ par jour) par le traitement des boues de latrines est valorisé sur le site par le gardien pour la cuisson de sa nourriture via l'utilisation d'un réchaud à biogaz à large diamètre et pour l'éclairage du site avec 3 lampes à biogaz.

Concernant le digestat, la phase liquide décantée dans les bassins prévus à cet effet, n'est pas encore valorisée. En revanche, des analyses de la qualité de l'eau rejetée ont été réalisées auprès de l'Institut Pasteur de Madagascar et montrent une réduction de pathogène de 98 % à la sortie du 3ème bassin. Le site dispose d'une parcelle cultivable qui pourrait être aménagée pour valoriser le digestat liquide et les boues issues des digesteurs lors de la vidange (tous les 2 ans).



⁵¹<http://www.afd.fr/home/AFD/nospartenaires/ONG/vous-etes-une-ong/collaborations/FISONG>

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

L'entreprise Sistema.bio, a assuré une formation théorique d'une journée et une formation pratique de 5 jours de l'équipe de projet et de la SAMVA, gestionnaire du site afin d'assurer le transfert de compétences et des bonnes pratiques de l'utilisation des installations.

Le projet a également appuyé la SAMVA à la gestion financière du site. Malheureusement, le site n'est pas encore à l'équilibre financier. Une étude financière a mis en évidence que le seuil de traitement de 44 m³ par mois permettrait à Zotompo d'assurer les charges minimales liées au service et qu'un apport de 20 m³ par la SAMVA permettrait d'atteindre un équilibre financier.

En conséquence, le projet travaille encore à l'organisation des vidangeurs et à la sensibilisation des quartiers ciblés par du porte à porte, l'organisation d'évènements de sensibilisation intensive et la distribution de brochures afin de faire connaître l'offre et d'augmenter la demande.

D'autres activités, comme la valorisation du digestat, doivent être mises en place afin d'augmenter les revenus de la station et atteindre un équilibre financier, voire une rentabilité financière.

Difficultés rencontrées

Bien que les ménages prennent conscience de l'importance de la collecte et de l'assainissement, les vidangeurs informels, qui pratiquent le déversement sauvage et proposent des prix plus attractifs, sont encore les principaux concurrents. Ces pratiques de déversement sauvages sont interdites et impliquent la pollution des cours d'eau. Les autorités locales doivent donc intervenir et pénaliser ces vidangeurs informels dans l'optique de formaliser les activités de vidange et imposer les bonnes pratiques dans le secteur. Une réglementation du service de vidange passerait par la mise à jour, la vulgarisation et l'application du Code Municipale d'Hygiène, ainsi que la mise à disposition de système clair d'agrément des vidangeurs.

CICR

Présentation générale et historique du projet

Les activités principales de la délégation régionale du CICR à Madagascar sont les visites aux personnes privées de liberté, la coopération avec les Sociétés nationales de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge et la promotion du droit international humanitaire. Dans ce contexte, le CICR propose par exemple un support nutritionnel pour les prisonniers en situation de malnutrition et a réalisé des projets liés aux infrastructures pénitentiaires.

Par ailleurs, depuis 2002, le CICR a collaboré à la construction de 13 biodigesteurs dans des prisons pour l'assainissement des boues de latrines au Rwanda (3 réservoirs), au Népal (5) et aux Philippines (5). L'organisation a choisi de mettre en place des systèmes de traitement par digestion anaérobie pour substituer aux fosses septiques afin de :

- Améliorer le traitement des boues de latrines et autres eaux usées et réduire les risques de maladies et pollution de l'environnement ;
- Réduire la pollution de l'air intérieur par l'utilisation du biogaz à la place du bois-énergie.

A Madagascar, le CICR a accompagné deux prisons de la région d'Antananarivo dans la mise en place de biodigesteurs afin d'assainir les prisons (fosses septiques qui débordent) et proposer des solutions alternatives à l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson des repas des détenus. Une première installation a été réalisée et inaugurée en juin 2016 et la seconde a été terminée fin de la même année. Le CICR prévoit l'installation d'un autre biodigesteur dans une troisième prison en 2018. L'étude de faisabilité n'a pas encore été finalisée.

Etapes de réalisation

Le CICR ayant déjà réalisé plusieurs constructions au Rwanda, une première étape a consisté à s'appropriier ces projets et connaître et évaluer les facteurs clés de succès et critères de réussite d'un tel projet. Par la suite, les ingénieurs du CICR et un consultant externe ont travaillé sur les aspects techniques de la solution (dimensionnement, plan des installations, choix techniques, repérage du site, etc.) et ont réalisé un appel d'offre pour sélectionner un constructeur local (non spécialisé en construction de biodigesteur). Une fois les biodigesteurs installés et connectés aux latrines de la prison, ils sont relativement autonomes et ne nécessitent qu'une opération de maintenance très simple par semaine. Ainsi, les gestionnaires des prisons ont reçu une formation

Hatao vidanza ve my kabone-nao?

Antsoy ny 033 12 090 16

Na koa manatona ny RF2 akaiky anao

Araka izay hefanao ny vidiny

Tsy miparitaka ny loto satria aterina eny amin'ny toby fanodinana eny Mandrangobato I ny diky

Asa fehain'ny fitaika momba ny fahadivana nicala tamin'ny 27 Agositra 2013 (Code Municipal d'Hygiène) Didimpykondana NP 126-CUAVIS/CAB13

à l'utilisation et la maintenance de base de ces derniers. Depuis, le CICR effectue des visites régulières des prisons pour contrôler l'utilisation et l'état des biodigesteurs fonctionnels.

Bénéficiaires

Les bénéficiaires directs des installations sont les gestionnaires des prisons puisqu'ils disposent désormais d'une solution d'assainissement durable qui nécessite beaucoup moins de maintenance que les fosses septiques et réalisent des économies sur l'achat de bois.

Les bénéficiaires indirects sont les personnes travaillant dans les cuisines qui n'utilisent plus le bois-énergie pour la cuisson des repas des détenus (impacts négatifs des fumées toxiques) ainsi que les prisonniers qui évoluent dans un milieu plus assaini et n'ont plus l'obligation de réaliser ponctuellement les vidanges des fosses septiques.

Financement

La totalité des deux projets ont été financé par le CICR.

Partenaires

Concernant la phase de design et de construction des biodigesteurs, le CICR s'est appuyé sur un consultant biogaz de l'entreprise CoreDev pour les choix techniques ainsi que des entreprises de construction ECO GC et CREAT BTP pour la construction des réservoirs. Concernant les institutions, le CICR a majoritairement travaillé avec le Ministère de la Justice ainsi que les institutions pénitentiaires.

Quelques aspects techniques des installations réalisées

Les deux biodigesteurs installés par le CICR sont enterrés maçonnés à dôme fixe en béton armé, proches des solutions réalisées au Rwanda. Ce choix a été fait pour la robustesse et la durabilité des installations et l'autonomie de fonctionnement et simplicité d'entretien. La première installation est de 50 m³ et la seconde de 30 m³. Le remplissage s'effectue automatiquement puisque le biodigesteur est directement connecté aux latrines de la prison. Le dimensionnement a été réalisé à partir du fait qu'il faut compter 100 L par détenu par jour et 30 jours de rétention pour optimiser la digestion des boues.

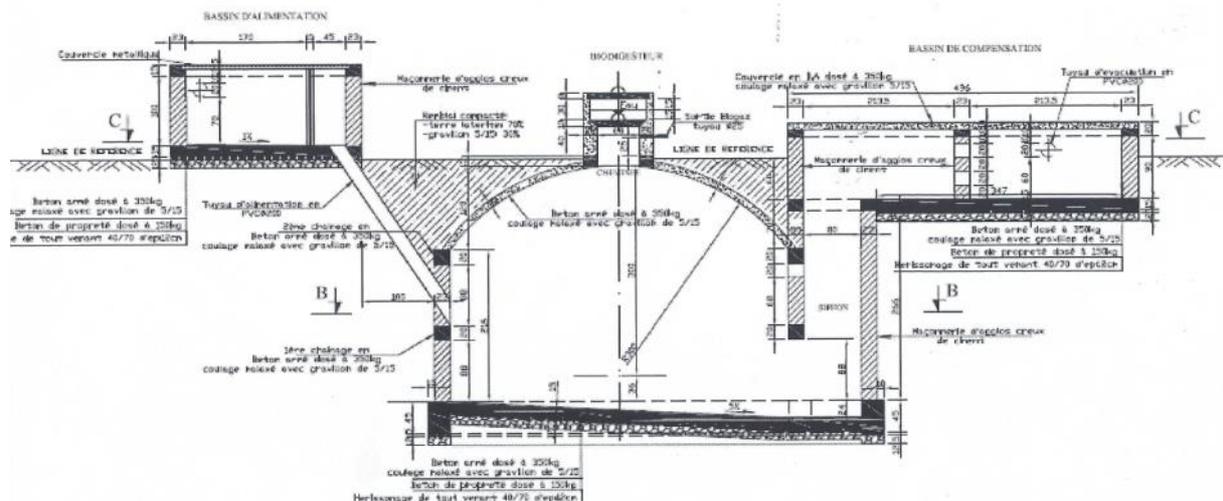


Figure 39 - Plan du biodigesteur CICR

Le biogaz produit est valorisé pour la cuisson par l'intermédiaire du projet de nutrition mené par le CICR dans les prisons bénéficiaires des biodigesteurs.

En revanche, le digestat (eaux traitées) est rejeté et alimente directement des parcelles rizicoles et maraichères voisines.

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

L'installation des biodigesteurs a été entièrement financée par le CICR pour les prisons bénéficiaires. Ainsi, ces dernières sont propriétaires des réservoirs et doivent assurer l'entretien régulier (nettoyage). En revanche, le dimensionnement et les choix techniques ayant été réalisés pour que le biodigesteur soit autonome (connexion direct aux latrines et déversement par système de trop plein), aucune autre intervention n'est nécessaire si ce n'est un curage régulier des canalisations d'amené et du dégrilleur. En conséquence, aucune formation plus approfondie n'a été délivrée aux gestionnaires des prisons. Les visites régulières du CICR (également prévues

dans le cadre d'autres projets menés par l'organisation) permettent d'assurer un suivi des installations.

8.6.3 Le projet de traitement de déchets organiques

WHH

Présentation générale et historique de WHH à Madagascar

Présente à Madagascar depuis 1992, la WHH œuvre principalement dans la sécurité alimentaire, la protection de l'environnement, la lutte contre le changement climatique et la gestion des urgences suite à des catastrophes naturelles. Depuis quelques l'organisation travaille également dans le volet WASH (Eau, Assainissement et Hygiène), dont fait partie l'assainissement solide. Actuellement les zones d'intervention de la WHH à Madagascar sont Farafangana, Fort Dauphin et Toliara.

Présentation du projet PASSAT et de sa composante biodigesteur

Le projet PASSAT

Le projet PASSAT (Projet d'Appui à l'Assainissement Solide et Sécurité Alimentaire) a comme objectif de « renforcer la résilience de la population face aux catastrophes naturelles en améliorant les conditions de vie de la population et augmenter leur capacité de production ». Réalisé entre Août 2014 et Décembre 2017, il est composé de 3 volets : assainissement solide, eau et génie rural, sécurité alimentaire et reboisement.

Dans le cadre de l'assainissement solide, le projet a mis en place, en étroite collaboration avec la municipalité de Toliara, un plan durable de gestion des déchets sur toute la chaîne de valeur : pré-collecte, collecte, transport, tri, valorisation et enfouissement des déchets ultimes. Plusieurs formes de valorisation de déchets ont été développées et la mise en place d'un site de bio-méthanisation au niveau du marché central de SCAMA en fait partie. Cette infrastructure permet de valoriser et de traiter une partie des déchets organiques du marché, réduisant ainsi les frais de collecte et de transport.



Ce site est le premier biodigesteur qui traite les déchets urbains et valorise entièrement le biogaz généré à Madagascar. Il sert actuellement de lieu de recherche, d'expérimentation, d'échange et de sensibilisation et grâce aux revenus générés par la valorisation du biogaz, il est autonome et rentable.

Les principales étapes du projet

Une première phase préliminaire a permis au projet de bien communiquer avec la Commune Urbaine de Tuléar (CUU), partenaire institutionnel clé. Des réunions d'information de présentation des activités, des objectifs et perspectives du projet ont été organisées. Par la suite, l'équipe du projet a recherché un terrain pour l'implantation du biodigesteur. Un diagnostic complet a permis de choisir le site du marché de SCAMA et une demande de terrain officielle a été soumise à la CUU. Suite à la validation de cette demande par la CUU, des réunions ont été organisées, par l'intermédiaire du comité de gestion du marché avec les marchands environnants afin de trouver un consensus sur la mise en place du biodigesteur et de les sensibiliser sur la collecte des déchets biodégradables valorisables sur le futur site.

La seconde phase du projet consistait en la mise en place du site de traitement. Pour cela, le projet a fait appel au Professeur Daniel Ramampihirika qui a assuré la conception du modèle de biodigesteur ainsi que l'organisation des travaux. Les installations ont été réalisées et suivies par des mains d'œuvre spécialisées formées par le professeur.

Les travaux ont débuté au mois d'Octobre 2015, se sont terminées en Février 2016 et le site a été inauguré en Juin 2016.

L'installation est constituée d'un biodigester de 15 m³ de type Sino-Indien à cloche flottante qui traite jusqu'à 150 kg de déchets organiques par jour du marché central de Tuléar (qui produit à lui seul 10T de déchets par jour). Actuellement, le site est géré par un opérateur privé. Un petit restaurant baptisé « Bio Resto » qui valorise plusieurs types d'énergie verte dont le biogaz et l'énergie solaire a été installé à proximité. Un bassin de pisciculture et des petites parcelles de légumes ont été mis en place pour valoriser le digestat. Le site montre également des essais d'agriculture urbaine et de valorisation par réutilisation des ressources (pneus, bouchons, bouteilles, bidon etc.).



Les bénéficiaires du projet

Le bénéficiaire direct de cette installation est la CUU. En effet, ce projet lui a permis de mieux organiser la gestion des déchets au niveau du marché et de réduire les dépenses quant à la collecte et au transport de ces derniers. Par ailleurs, le biodigester permet de réduire la mise en décharge des déchets et de les valoriser et donc d'améliorer l'assainissement de la ville.

Le gestionnaire privé du site est également bénéficiaire et cette activité suffit à assurer son revenu mensuel.

Les bénéficiaires sont aussi les commerçants du marché qui disposent désormais d'un système de traitement de leurs déchets organiques sur place ainsi que les riverains qui bénéficient d'un marché plus propre. Par ailleurs, les trois maçons formés durant la construction du site disposent désormais d'un savoir-faire sur la réalisation d'un biodigester. Enfin, la gestion actuelle du site est réalisée par un technicien (suivi technique des installations) et un gardien (sécurité et entretien).

Le financement du projet

Ce projet a été entièrement financé par la BMZ (Ministère fédéral de la Coopération économique Allemand chargé de l'aide au développement économique).

Les partenaires du projet

Les partenaires opérationnels

- Le professeur Ramampihrika était chargé de la conception du site de traitement ainsi que de la formation de la main d'œuvre spécialisée recrutée pour la construction du biodigester ;

Les partenaires institutionnels

- La CUU a permis l'obtention du terrain où est maintenant localisé le site de traitement et a accompagné le projet pour faciliter les démarches auprès des marchands ;
- Le comité de gestion du marché a permis au projet de sensibiliser les marchands sur les collectes de déchets organiques du marché. Il a été formé sur les démarches de tri afin d'assurer sur le long terme la bonne organisation de cette collecte et du tri des déchets à traiter par bio-digestion.
- La Direction Régionale de l'Energie et des Hydrocarbures a approuvé les installations suite à une constatation terrain.

Le projet en plus du financement et de la recherche du terrain et négociations avec la CUU était responsable du suivi des travaux et de la réception du site selon les normes en vigueur.

Quelques aspects techniques des installations réalisées

Modèle du biodigester et construction



Le projet PASSAT a choisi d'installer un réservoir maçonné de 15 m³ de type Sino-Indien à cloche flottante plus adapté au traitement des déchets organiques avec une production stable et régulière de biogaz. Le biodigester est composé d'un bac d'alimentation, d'une cuve de fermentation pour la dégradation des matières ainsi qu'un bassin de collecte des effluents. La construction du réservoir a nécessité l'installation d'une base en béton, l'élévation d'un mur en

demi-sphère en briques cuites et la construction de deux margelles permettant l'installation du dôme flottant. Tous les matériaux nécessaires à l'installation du site ont été achetés localement. Aucune importation n'a été nécessaire.

Les intrants

Les 150 kg de déchets organiques introduits dans le biodigesteur permettent de produire 4 m³ de biogaz par jour. Actuellement, grâce à une collaboration fructueuse entre le gestionnaire et les marchands, le tri est quasiment nul car les marchands ne mettent dans les contenants que les déchets organiques valorisables en méthanisation.

La valorisation du biogaz

Les 4 m³ de biogaz produit quotidiennement par les installations sont valorisés pour la cuisson (cuiseur de riz et bruleur artisanal) et l'éclairage (lampes à biogaz) par le gestionnaire. Le biogaz est notamment valorisé dans le « Bio-Resto ».

La valorisation du digestat

La phase liquide du digestat obtenu est diluée et utilisée pour arroser les cultures maraichères et plants d'arbre sur pépinière du projet. Bien que le projet n'ait pas réalisé d'analyse de ce digestat, des parcelles de démonstration ont été mises en place pour la sensibilisation de la population et la mesure de performance de son utilisation grâce à l'implication des techniciens agricoles. Les observations permettent de dire qu'il rend les plants plus vigoureux et qu'il éloigne les insectes terricoles. Une partie du digestat est également utilisée comme alimentation des poissons dans un bassin créé à cet effet.

Le digestat non valorisé est également commercialisé auprès de privés ou d'ONG pour l'arrosage de jeunes plants.

Le transfert de compétences et la durabilité du projet

Dans un premier temps, le site de traitement était géré par le projet PASSAT. Par la suite, les acteurs de la chaîne de valeur ont tous reçu des formations adaptées.

- Les marchands et pré-collecteurs de la CUU ainsi que le comité du marché ont été formés pour assurer la livraison des déchets organiques jusqu'au site de traitement.
- Le gestionnaire actuel a été formé sur ces mêmes pratiques ainsi que sur la gestion du site à proprement parler (entretien du matériel, gestion administrative et financière, etc.)

Actuellement, c'est le gestionnaire qui s'occupe de tout : la récupération des déchets, l'alimentation et l'entretien général du site. Son activité de « Bio-Resto » lui permet d'assurer un revenu mensuel. Concernant les maçons qui ont été formés durant la construction, ils sont maintenant capables de réaliser un biodigesteur.

Perspectives

Le site est fonctionnel et tous les acteurs de la chaîne de valeur bien organisés pour optimiser le traitement des déchets organiques du marché. D'ici la fin du Projet, en Décembre 2017, la WHH prévoit d'officialiser la délégation du service de gestion du biodigesteur et de finaliser l'analyse de rentabilité du site avec l'activité de restauration.

8.7 Etude d'impacts d'une solution biogaz domestique

8.7.1 Hypothèses de l'étude d'impacts

La réalisation de l'étude d'impact d'une installation biogaz domestique au niveau d'un ménage rural moyen à Madagascar nécessite d'utiliser des données moyennes et de réaliser des hypothèses sur la population ciblée. Les données utilisées sont celles recueillies des suites d'une bibliographie des statistiques disponibles auprès de l'INSTAT, des Ministères ou institutions publiques (nationales, régionales et locales), de la documentation publiée par des organismes internationaux (tels que WWF, la GIZ). Une enquête réalisée auprès de 1 000 ménages dans la région DIANA par l'association ETC TERRA et l'OSDRM complète certaines estimations. Enfin, les entretiens avec les opérateurs, projets et utilisateurs biogaz viennent renforcer ces informations.

Ménage rural moyen à Madagascar

Le ménage rural moyen considéré :

- Est constitué de 6 personnes ;
- Consomme⁵²chaque jour
 - 7,644 kg de bois ;
 - 162 g de charbon.
- Achète son charbon à 400 Ar le kilogramme ;
- Collecte 95,6 % du bois consommé et achète 4,4 % à 200 Ar le kilogramme ;
- Passe en moyenne 53 minutes par jour pour collecter le bois ;
- Cuisine 180 minutes par jour à l'aide de foyers traditionnels :
 - Toko Telo pour le bois ;
 - Fatapera pour le charbon ;
- Utilise pour l'éclairage :
 - Majoritairement le pétrole lampant (16 L par an à 3 000 Ar le litre) ;
 - D'autres combustibles (qui augmentent les dépenses de 20 %).
- Gagne en moyenne 50 000 Ar par mois et peut être payé 3 000 Ar par jour de travail (salaire journalier) ;
- Possède une surface cultivable de 1 ha de riz avec un rendement de 2,71 t/ha ;
- Vend son riz à 1 300 Ar le kilo ;
- N'utilise pas d'engrais chimiques ou de pesticides sur ses cultures de riz ;
- Perd 5 % d'activité salariale par an à cause des maladies liées à l'utilisation du bois-énergie (OMS).

Valeurs techniques

1 kg de bois = 3,9 kWh

1 kg charbon = 9,25 kWh

1 m³ biogaz = 6,4 kWh

Rendement d'un foyer traditionnel à bois Toko Telo = 17 %

Rendement d'un foyer traditionnel à charbon Fatapera = 25 %

Rendement d'un réchaud à biogaz = 55 %

Rendement de la carbonisation (transformation du bois en charbon) = 15 %

Fraction Non Renouvelable de la Biomasse (NRB) des forêts à Madagascar = 72 %

NCV (Pouvoir Calorifique) du bois = 15,6 TJ/Gg

Emission de CO₂ du bois = 112 kg/TJ

Humidité du bois = 10 %

8.7.2 Analyse d'impacts économiques

Gains économiques liés à l'utilisation d'un biodigester domestique

Les gains économiques d'un ménage résidant en milieu rural à Madagascar sont répartis selon trois niveaux :

⁵² Ces estimations sont basées sur le fait qu'à Madagascar, 9 % des ménages cuisineraient au charbon et 91 % au bois. Par ailleurs, un ménage qui consomme exclusivement du bois utiliserait 8,4 kg de bois et celui qui utilise du charbon en consommerait 1,8 kg. Ainsi un ménage moyen consommerait 91 % * 8,4 = 7,644 kg de bois et 9 % * 1,8 = 162 g de charbon.

- Le gain de temps ;
- La réduction des dépenses ;
- L'augmentation des revenus.

Les parties suivantes détaillent les gains économiques réalisés pour chacun de ces niveaux.

Le gain de temps

De nouvelles Activités Génératrices de Revenus (AGR) peuvent être réalisées par les ménages grâce à :

- La réduction du temps de collecte du bois ;
- La réduction du temps de cuisson et de nettoyage des ustensiles noircis par la combustion du bois-énergie ;
- La réduction du temps en arrêt maladie due aux émissions de fumées toxiques ou aux brûlures par l'utilisation du bois-énergie.

Réduction du temps de collecte du bois

L'étude menée par ETC TERRA dans la région DIANA permet d'estimer qu'un ménage moyen emploi l'équivalent de 40,58 homme-jour par an à la collecte du bois pour la cuisson. Cela signifie qu'une personne du ménage passe 53 minutes par jour (sur la base d'une collecte quotidienne) à collecter du bois. Selon les estimations des installateurs de biodigesteurs à Madagascar, ménage mobiliserait en moyenne une personne pendant 30 minutes par jour pour la collecte de la bouse et de l'eau, le remplissage et l'entretien du réservoir. Un ménage rural moyen gagnerait alors 53 – 30 = 23 minutes par jour pour l'approvisionnement en énergie de cuisson.

Collecte du bois		
Temps de collecte bois par jour	53	min
Temps remplissage biogaz	30	min
Temps gagné par jour	23	min
Temps gagné par an	139,91667	heure
Jour (8h) gagné par an	17,489583	jour
Gain économique par an	52 469	Ar

Ainsi, sur une année, un ménage rural moyen économiserait 17,5 jours de travail (à 8 heures par jour). En considérant un salaire journalier de 3 000 Ar, le ménage pourrait donc gagner **52 469 Ar** de plus par an.

Réduction du temps de cuisson

Un ménage rural moyen cuisinerait en moyenne 3 heures par jour. Les observations réalisées sur différents projets dans le monde permettent de dire qu'un ménage gagnerait près de 40 % du temps de cuisson en utilisant du biogaz plutôt que du bois-énergie. Ainsi, un ménage économiserait 72 minutes par jour. En considérant un salaire journalier de 3 000 Ar, le ménage pourrait gagner **164 250 Ar** de plus par an.

Temps de cuisson		
Temps de cuisson bois par jour	180	min
Réduction % du temps de cuisson	40%	%
Temps de cuisson biogaz par jour	108	min
Temps gagné par jour	72	min
Temps gagné par an	438	heure
Jour (8h) gagné par an	54,75	jour
Gain économique par an	164 250	Ar

Réduction du temps en arrêt maladie

Selon une estimation fournie par l'OMS, un ménage qui utilise un foyer amélioré à bois au lieu d'un foyer traditionnel gagnerait 3 % de plus par an grâce à une productivité plus grande sur toute sa durée de vie (moins d'arrêt maladie et durée de vie plus longue grâce à la réduction des fumées). Le biogaz réduisant encore plus les risques de maladies respiratoires et de brûlure que le foyer amélioré, nous proposons ici d'augmenter ce taux à 5 %. Ainsi, en considérant un salaire mensuel de 50 000 Ar, un ménage pourrait économiser **30 000 Ar** par an.

Temps arrêt maladie		
Salaire mensuel	50 000	Ar
Salaire annuel	600 000	
% gagné pour non arrêt (OMS)	5%	%
Gain annuel	30 000	Ar

Conclusion

Ainsi, l'utilisation du biogaz au lieu du bois-énergie en foyer ouvert traditionnel permettrait au ménage de gagner du temps et donc de gagner **246 719 Ar** par an en valorisant ce temps en travail journalier.

La réduction des dépenses

La réduction des dépenses réalisées par les ménages suite à l'installation d'un biodigesteur s'évalue sur :

- La réduction des dépenses en combustible pour la cuisson ;
- La réduction des dépenses en éclairage ;

Réduction des dépenses en combustible pour la cuisson

On considère ici la consommation de bois et de charbon énoncée dans les hypothèses de cette étude (7,644 kg de bois et 162 g de charbon par jour et par ménage). Notons cependant que ces valeurs sont des approximations qui doivent être recalculées au cas par cas pour obtenir une valeur réelle des économies réalisées dues à la réduction de l'utilisation du bois-énergie par le ménage.

Le ménage moyen étudié achète son charbon à 400 Ar le kilo et achète 4,4 % du bois utilisé à 200 Ar le kilo (95,6 % du bois utilisé étant collecté gratuitement).

Les économies réalisées par jour pour un ménage moyen sont donc de 67,3 Ar par jour pour le bois et de 64,8 Ar par jour pour le charbon.

Le remplacement du bois-énergie par le biogaz permettrait alors à un ménage rural moyen à Madagascar d'économiser **48 205 Ar** par an.

Un ménage qui ne consomme que du charbon économiserait entre 12 000 et 30 000 MGA par mois (selon la taille du ménage) soit entre 144 000 et 360 000 MGA par mois.

Réduction des dépenses en éclairage

De même que pour le combustible de cuisson, les pratiques en termes d'éclairage sont très variables d'une région à l'autre. Selon le WWF, 81,2 % des ménages utilisent le pétrole lampant comme source d'éclairage principale. Les informations fournies dans ce diagnostic permettent d'estimer une consommation annuelle par ménage de 16 L⁵³ de pétrole lampant par an. L'enquête menée par ETC TERRA dans les districts d'Ambanja et d'Ambilobe a mis en évidence que 71,31 % utilisent la lampe torche, 67,8 % utilisent le pétrole lampant, 26,7 % un panneau solaire et 7,9 % la bougie.

Contrairement aux combustibles pour la cuisson, il est très rare qu'un ménage utilise une unique source d'énergie pour l'éclairage. Nous considérerons donc ici qu'un ménage rural moyen utilise le pétrole lampant comme combustible principal pour l'éclairage et qu'il consomme 16 L par an.

Etant difficile d'évaluer les dépenses des ménages pour une autre source d'énergie, nous estimerons à 20 % du montant obtenu les dépenses additionnelles dues à la consommation de ce second combustible (pile ou bougie).

Le pétrole lampant est estimé à 3 000 Ar par litre en milieu rural. Ainsi le ménage rural moyen économisera 48 000 Ar par an pour sa consommation de pétrole lampant soit **57 600 Ar** de dépenses annuelles pour l'éclairage.

Conclusion

Un ménage rural moyen pourrait donc réduire ses dépenses de **105 805 Ar** par an grâce à l'utilisation d'un biodigesteur.

L'augmentation des revenus

L'augmentation des revenus des ménages s'effectue :

- Par l'augmentation des rendements des cultures grâce à une bonne utilisation du digestat ;
- Par la création d'une AGR par la commercialisation du surplus de digestat ou la valorisation du biogaz dans le cadre d'une AGR.

Augmentation des rendements

Economie combustible cuisson		
Consommation de bois par jour	7,644	kg
Consommation de charbon par jour	0,162	kg
Prix du bois par kilo	200	Ar
Taux de bois collecté	95,6%	%
Taux de bois acheté	4,4%	%
Prix du charbon par kilo	400	Ar
Dépense quotidienne en bois	67,3	Ar
Dépense quotidienne en charbon	64,8	Ar
Dépense quotidienne en combustible	132	Ar
Dépenses annuelles en combustible	48 205	Ar

Economie combustible éclairage		
Consommation pétrole lampant / an	16	L
Prix du pétrole lampant	3000	Ar / L
Dépense en pétrole lampant / an	48000	Ar
Autre combustible	20%	%
Dépenses annuelles éclairage	57 600	Ar

⁵³ Le diagnostic du WWF (3) estime que 3 391 460 ménages consomment en tout 52 622 m3 de pétrole lampant en 2010.

La culture principale à Madagascar étant le riz et la surface moyenne cultivée par un ménage étant d'un hectare, nous considérerons ici le cas d'un ménage qui valorise son digestat sur son hectare de rizière. A Madagascar, le rendement du riz est de 2,71 t/ha. Selon une étude menée par Hivos (65), l'application de 40 t/ha/an de digestat permettrait une augmentation des rendements des rizières de 23 %. On estime dans notre cas que le ménage est en mesure d'appliquer 20 t/ha du digestat produit par son biodigesteur.

Ainsi, on fait l'approximation que les rendements seront augmentés de 12 %. Le ménage bénéficierait alors de 325,2 kg de riz supplémentaire chaque année, ce qui lui permettrait de gagner **422 760 Ar** s'il commercialise son riz à 1 300 Ar le kilo.

Augmentation des rendements		
Rendement initial	2,71	t/ha
Augmentation des rendements	12,0%	%
Rendement final	3,0352	t/ha
Nombre d'ha moyen par ménage	1	ha
Augmentation de kg par an	325,2	kg
Prix de la culture au kilo	1300	Ar
Gain économique annuelle	422 760	Ar

Augmentation des revenus par la commercialisation du digestat non utilisé

Opportunités d'AGR (vente digestat)		
Digestat produit par jour (L)	60	L
Masse volumique digestat	1,1	kg/L
Digestat disponible par an	24090	kg
Surface moyenne cultivée	1	ha
Bonnes pratiques : t / an / ha	20	t/ha
Digestat utilisé par an	20000	kg
Digestat non valorisé	4090	kg
Cout revente digestat /kg	50	Ar/kg
Part du digestat revendu	50%	%
Gain	102 250	Ar par an

On considère que le ménage introduit 60 L de mélange (bouse + eau) par jour dans son biodigesteur pour obtenir 1,4 m³ de biogaz. Il obtient alors 60 L de digestat par jour soit 24 090 kg par an (avec une masse volumique du digestat de 1,1 kg/L). On considère aussi que le ménage dispose d'un hectare de riz et qu'il applique 20 t/ha de digestat sur cette culture pour obtenir une augmentation de rendement de 12 %.

Ainsi, le ménage n'utilisera pas 4 090 kg de digestat

par an sur ses propres cultures. En estimant qu'il commercialise la moitié de ce digestat (phase solide uniquement) à 50 Ar le kilo, il pourra donc augmenter ses revenus de **102 250 Ar** par an.

En conclusion, l'utilisation du biodigesteur permettra au ménage d'augmenter ses revenus de **525 010 Ar** par an.

Bilan des gains annuels

En conclusion, un ménage rural moyen qui utilise un biodigesteur au lieu de foyers traditionnels économiserait et gagnerait près de **870 000 Ar** par an soit 73 000 Ar par mois.

Gain de temps		Ar
Collecte du bois		52 469
Cuisson		164 250
Arrêt maladie		30 000
Réduction des dépenses		
Combustible cuisson		48 205
Combustible éclairage		57 600
Engrais chimiques		0
Augmentation des revenus		
Augmentation des rendements		422 760
Augmentation via AGR		102 250
Gain total annuel (Ar)		877 533

Les dépenses liées à l'utilisation d'un biodigesteur domestique

Investissement

On estime qu'à Madagascar un biodigesteur de 8 m³ coûte 3 000 000 Ar. Un ménage rural n'ayant que très peu de capacité d'investissement, on suppose qu'il empruntera 80 % du montant du biodigesteur (soit 2 400 000 Ar) à un taux d'intérêt dégressif annuel de 10 % pour un remboursement sur 5 ans. Les 25 % restant sont des apports en nature : sable, gravier, briques et main d'œuvre (équivalent à 600 000 Ar). Les annualités du prêt seront de 480 000 Ar par an. Le total des intérêts à rembourser sur 5 années s'élèveront à 720 000 Ar. La durée de vie du biodigesteur est estimée à 15 ans.

Maintenance

Concernant la maintenance du réservoir, on suppose que le ménage paiera une inspection annuelle auprès de l'opérateur qui lui sera facturée 20 000 Ar. Par ailleurs, on estime la durée de la lampe à biogaz (50 000 Ar) à 4 ans et celles du réchaud à biogaz (100 000 Ar) et de la tuyauterie (30 000 Ar) à 8 ans.

Analyse coûts-bénéfices

En additionnant toutes les opportunités de gains économiques, un ménage moyen pourrait gagner jusqu'à **838 887 Ar** par an grâce à l'utilisation d'un biodigester au lieu du bois-énergie. Afin d'être conservateur, nous supposons ici que le ménage ne valorisera que 60 % du temps gagné en AGR, soit un gain total annuel de **778 000 Ar**.

En intégrant les dépenses réalisées par le ménage pour l'installation (investissement et intérêts), l'entretien et la maintenance, un ménage aurait un temps de retour sur investissement de 5 ans (solde cumulé). Au bout de 15 ans, le ménage pourrait accumuler 7 382 687 Ar grâce à son investissement dans un biodigester.

Années	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gain annuel	0	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846	778 846
Apport initial	-600 000															
Remboursement annualités		-480 000	-480 000	-480 000	-480 000	-480 000										
Remboursement intérêts		-240 000	-192 000	-144 000	-96 000	-48 000										
Maintenance		-20 000	-20 000	-20 000	-70 000	-20 000	-20 000	-20 000	-200 000	-20 000	-20 000	-20 000	-70 000	-20 000	-20 000	-20 000
Solde annuel	-600 000	38 846	86 846	134 846	132 846	230 846	758 846	758 846	578 846	758 846	758 846	758 846	708 846	758 846	758 846	758 846
Solde cumulé	-600 000	-561 154	-474 308	-339 463	-206 617	24 229	783 075	1 541 920	2 120 766	2 879 612	3 638 458	4 397 304	5 106 149	5 864 995	6 623 841	7 382 687
Prix biodigester si revente	3 000 000	2 800 000	2 600 000	2 400 000	2 200 000	2 000 000	1 800 000	1 600 000	1 400 000	1 200 000	1 000 000	800 000	600 000	400 000	200 000	0
Gain final si revente	-720 000	-161 154	397 692	956 537	1 465 383	2 024 229	2 583 075	3 141 920	3 520 766	4 079 612	4 638 458	5 197 304	5 706 149	6 264 995	6 823 841	7 382 687

Tableau 28 - Bilan financier annuel d'un ménage investissant dans un biodigester

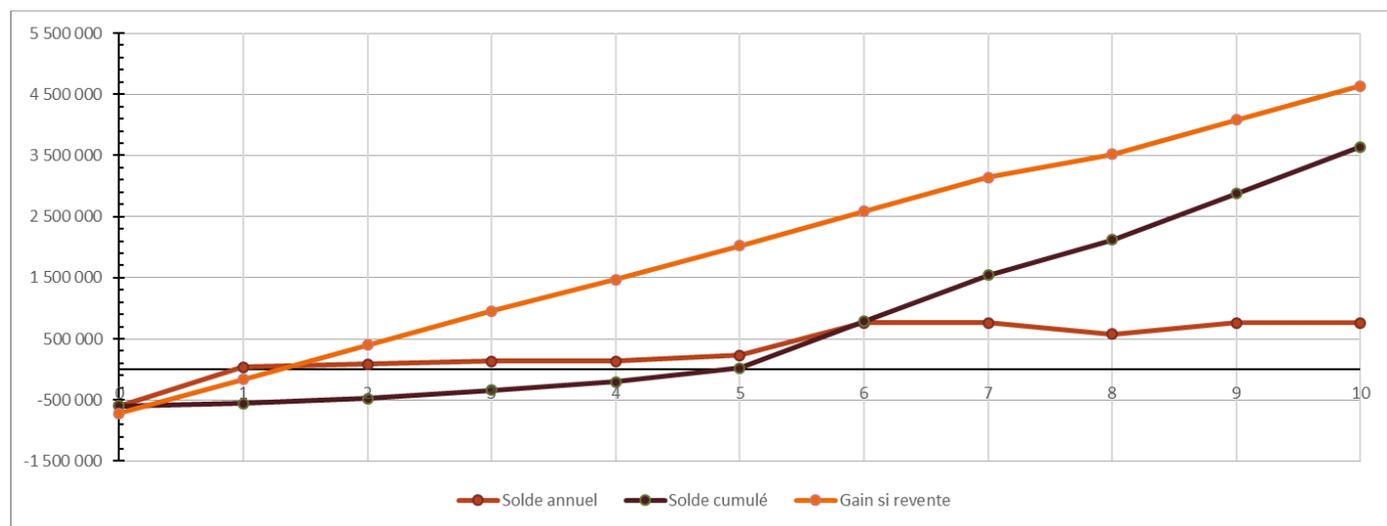


Figure 40 – Courbes du bilan financier d'un ménage investissant dans un biodigester

8.7.3 Analyse d'impacts environnementaux

Dans cette analyse des impacts environnementaux, nous n'étudierons que la réduction de la déforestation ainsi que la réduction des émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) dues à la réduction de l'utilisation du bois-énergie pour la cuisson grâce à l'utilisation du biogaz comme combustible domestique. Les hypothèses utilisées sont celles de l'étude d'impacts économiques (Annexe 8.7.1).

Réduction des émissions de GES

La réduction des émissions de GES est évaluée à partir de la substitution du bois-énergie par le biogaz. On considère ici que le biogaz produit par le biodigesteur permet au ménage bénéficiaire de combler 100 % de son utilisation du bois-énergie.

Ainsi, en reprenant les hypothèses formulées en Annexe 8.7.1, le ménage rural moyen consommerait 7,644 kg de bois par jour et 162 g de charbon. En considérant un taux de carbonisation de 15 % (taux moyen mesuré), le ménage consommerait donc l'équivalent de 8,724 kg de bois à 10 % d'humidité par jour soit 2,895 t de bois sec par an. Par ailleurs, le taux de non renouvelabilité du bois à Madagascar étant de 72 %, 2,084 t de bois sec non renouvelables seraient consommés. Enfin, en considérant le pouvoir calorifique du bois de 15,6 TJ/Gg et la quantité de CO₂ émise par le bois par TJ, on obtiendrait ainsi une réduction des émissions de GES de **3,642 tCO₂e par an par ménage rural moyen**.

Réduction GES		
Consommation de bois H10% / j	7,644	kg/jour
Conso charbon / j	0,162	kg/jour
Conso charbon equivalent bois H10%	1,080	kg bois/j
Conso bois H10% equiv / jour	8,724	kg bois/j
Conso de bois H10% annuelle	3,184	t par an
Humidité du bois	10%	%
Conso de bois sec / an	2,895	t par an
Quantité moyenne de bois sec non renouvelable consommé	2,084	t par an
Emission	3,642	t CO ₂ par an

D'autres émissions pourront être évitées. En effet, la réduction de l'utilisation du pétrole lampant pour l'éclairage ou du charbon et donc de la carbonisation du bois en charbon, permet également de réduire les émissions de GES. L'estimation n'est pas proposée ici.

Réduction de la déforestation

Comme calculé dans la partie précédente, un ménage rural moyen consommerait 2,895t de bois sec par an soit 4,168 tonnes de bois vert. Par ailleurs, les forêts étant très diverses à Madagascar, on relève des densités massiques de bois par surface variant de 5 à 20 kg/m² (respectivement pour les forêts épineuses et forêts humides). Ainsi, la déforestation évitée par ménage grâce à la substitution du bois-énergie par le biogaz serait de 208 m² par an pour une forêt humide à 1157 m² de forêt épineuse.

Réduction de la déforestation		
Consommation de bois sec annuelle	2,895	t bois par an
Consommation de bois sec annuelle non renouvelée	2,084	t bois par an
% humidité bois vert	100%	%
Equivalent bois vert	4,168	t bois vert par an
Densité forêt épineuse kg/m ²	5	kg bois / m ²
Densité forêt humide kg/m ²	20	kg bois / m ²
Densité forêt épineuse t/ha	0,005	t bois / m ²
Densité forêt humide t/ha	0,02	t bois / m ²
Surface évitée forêt humide par ménage	208,42	m ²
Surface évitée forêt épineuse par ménage	833,70	m ²

En prenant l'hypothèse que 2 % de la population rurale (soit entre 60 000 à 80 000 ménages⁵⁴) utilise la technologie biogaz au lieu du bois-énergie, la coupe de 1 800 (forêt humide) à 7 000 ha de forêt épineuse pourrait être évitée chaque année.

Par ailleurs, avec ces mêmes hypothèses, il faudrait installer 9 biodigesteurs pour éviter la déforestation d'un hectare de forêt d'épineux et 49 biodigesteurs pour une forêt humide.

⁵⁴ On estime la population à 25 000 000 d'habitants. 6 personnes par ménage.

8.8 Facteurs clés de succès de la technologie *biogaz*

8.8.1 Facteurs Techniques

Situation climatique

A Madagascar⁵⁵, la saison sèche dure du mois d'Avril au moins de Novembre (7-8 mois) et les températures minimum ne descendent jamais en dessous de 5°C.

Le climat étant très varié sur l'île, il faut bien se renseigner avant de choisir la zone d'installation. Sur les Hauts-Plateaux (*zone verte*), en saison sèche, les températures peuvent descendre jusqu'à 5°C ce qui peut ralentir la réaction de méthanisation. La Côte-Est de l'île (*zone bleue*) est soumise à des pluies importantes quasi quotidiennes même en saison sèche (en moyenne, il pleut 21 jours par mois, 3370mm de précipitation par an) qui rendront les travaux difficiles, mais les températures sont relativement chaudes et adaptées à la méthanisation. Le Sud de l'île (*zone rouge*) et la côte Ouest (*zone jaune*) sont relativement sèches sec (4 jours de précipitation en moyenne par mois et seulement 420mm d'eau par an pour le Sud) et chaudes (température moyenne de 22°C et ne descendent jamais en dessous de 15°C). Ce climat est idéal pour les constructions et le processus de méthanisation. Mais il faudra s'assurer de la présence d'eau toute l'année. Le Nord (*zone orange*) connaît une saison des pluies conséquentes (de Décembre à Mars) mais une saison sèche avec très peu de précipitation qui permet d'assurer les travaux. La température moyenne avoisine les 25°C ce qui permet des conditions idéales pour la méthanisation.



Disponibilité des matières premières

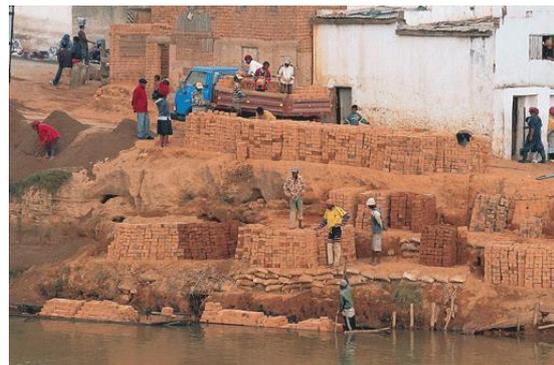
Madagascar est producteur de ciment avec l'usine Holcim installée à Antsirabe qui possède 65 % du marché local. L'usine souhaite investir dans les prochaines années pour augmenter sa capacité de production et la qualité du ciment pour tenter de faire concurrence aux ciments importés proposés à des prix très concurrentiels. Le pays dispose des ressources nécessaires à la production de ciment et est encore un petit consommateur. Le ciment est disponible dans toutes les villes de province.

L'argile est présente en grande quantité à Madagascar. Mais il faut donc bien se renseigner sur sa disponibilité dans la zone d'implantation et les coûts et moyens d'approvisionnement. De nombreux artisans produisent et commercialisent des briques en argile cuites allant de 60 à 120 Ar la brique.

Le sable et le gravier sont disponibles mais peuvent nécessiter de plus grands déplacements ou des frais parfois importants pour l'approvisionnement. Dans certaines régions ils sont collectés gratuitement par les ménages.

Les barres de fer et autres matériaux métalliques sont importés ou récupérés mais facilement disponibles.

En revanche, les terminaux à biogaz ne sont pas encore disponibles en grande quantité et à des prix acceptables sur le marché. Les opérateurs existants les importent majoritairement de Chine ou modifient des brûleurs à gaz pour les adapter à la combustion du biogaz. Concernant les dômes flottants, les bâches peuvent être de récupération (bâches de camion par exemple) ou importées de Chine. Les cloches flottantes peuvent être fabriquées localement en adaptant des cuves plastiques par exemple ou importées.



⁵⁵<http://www.madascope.com/temperature.html>

8.8.2 Facteurs sociaux

Appropriation et contraintes culturelles

Changements d'habitudes et de pratiques

L'installation d'un biodigester et son utilisation nécessite une réorganisation des activités quotidiennes menées par un ménage. Par exemple, la collecte du bois sera remplacée par la collecte des bouses et le remplissage du biodigester. Les zébus devront être majoritairement parqués et le ménage devra s'approvisionner en fourrage pour les nourrir (au lieu de les laisser en divagation). L'espace de cuisson devra être réorganisé afin d'accueillir les terminaux de cuisson. Tous ces changements sont cruciaux et doivent être intégrés par les ménages avant la construction afin de confirmer leur motivation à changer leurs habitudes culturelles.

Freins culturels et tabous

Les freins culturels et tabous peuvent être une vraie contrainte au développement de la technologie biogaz. Par exemple, il faut s'assurer que les ménages ont l'habitude et ne sont pas gênés par la manutention des bouses ou autres matières premières à introduire dans le biodigester. Les utilisateurs ne doivent pas non plus avoir peur d'utiliser du gaz et ne doivent pas être dérangés par le fait que ce dernier provienne de la fermentation de déjections animales. Dans le cas de la connexion des latrines directement au biodigester, il faut vérifier que le ménage accepte l'utilisation des latrines et d'utiliser du gaz et du digestat provenant d'excréments humains.

A Madagascar, l'utilisation des bouses de zébus sont très régulièrement utilisées comme engrais naturel sur tout type de culture et leur manutention ne pose aucun problème. Par ailleurs, selon l'enquête menée par ETC TERRA dans la région DIANA, les ménages ne semblent pas réticents à l'utilisation d'un gaz et d'un digestat en provenance de déjections animales.

En revanche, le gaz étant utilisé par moins de 1 % de la population, les craintes sont nombreuses. Des formations et sensibilisations devront être organisées pour réduire ces peurs et réduire les risques d'abandon. De plus, la valorisation des excréments humains sera difficile à mettre en place puisqu'il s'agit d'un sujet relativement tabou.

Enfin, il est important de souligner l'existence de tabous ou interdits appelés « Fady » à Madagascar. Ces derniers, très présents dans la culture malgache et respectés par la population sont très différents d'une zone à une autre. Il est donc crucial de prendre en compte ces « Fady » selon la zone d'implantation pour vérifier leur compatibilité avec la technologie biogaz.

Niveau d'éducation

Le niveau d'éducation du chef de famille (ou des décisionnaires du ménage) peut influencer l'acceptation du biodigester. En amont de son installation, le ménage doit être convaincu de l'intérêt de son utilisation. Pour cela, il doit être en mesure de :

- Comprendre les bénéfices économiques sur le long terme ;
- Appréhender les changements impliqués par le biodigester ;
- Comprendre les impacts environnementaux ;
- Etc.

Cette compréhension globale l'aidera à accepter mais également à bien gérer sur le long terme les extrants du biodigester pour en obtenir le plus de bénéfices possibles.

Dans le cas contraire, le projet devra redoubler d'effort et de créativité dans la conception et le déroulement des séances de formation et de sensibilisation pour permettre à la plus large partie de la population de s'approprier ces concepts clés dans l'acceptation de la technologie.

8.8.3 Tableaux récapitulatifs – facteurs clés de succès

		Facteurs	-- / - / + / ++	Commentaires
Facteurs techniques	Potentiel technique macro	Conditions climatiques	+	Le climat de plusieurs régions est favorable à l'installation de biodigesteurs (température suffisante, pas de grande variation de températures, saison sèche suffisante pour les travaux, pas de grandes inondations ou sécheresses trop fréquentes etc.)
		Disponibilité des matériaux	+	Les matériaux de construction sont disponibles dans la plupart des régions. Le matériel spécifique biogaz peut être importé.
		Présence d'opérateurs expérimentés	+	Plusieurs opérateurs biogaz avec de l'expérience sont présents à Madagascar. Attention à leur capacité de déploiement à plus large échelle.
		Robustesse des infrastructures et routes (enclavement des villages)	-	De nombreux villages sont enclavés, difficiles d'accès toute l'année ou durant la saison des pluies. Un biodigesteur est une technologie décentralisée adaptée.
	Potentiel technique micro	Agro-pasteur	++	Les ménages sont très majoritairement agro-pasteurs.
		Bétail suffisant	-	Tous les ménages ruraux n'ont pas toujours suffisamment de bovins (ou cheptel) pour assurer le remplissage quotidien d'un biodigesteur.
		Valorisation du digestat	+	Les besoins en engrais sont importants. Même si les surfaces agricoles ne sont pas toujours suffisantes par ménage, le digestat peut être vendu ou donné.
		Eau naturelle suffisante	-	L'eau peut manquer dans certaines régions de l'île ou connaître un conflit d'usage.
		Propriété du terrain	+	La densité de population des milieux ruraux est faible. Les maisons dans les villages rarement trop rapprochées.
	Opérateurs	Modèles de bio-digesteurs	++	Plusieurs modèles de biodigesteurs adaptés aux conditions du pays sont disponibles et répondent à des besoins variés.
		Aptitudes	-	Les opérateurs ont de bonnes expériences mais manquent d'autonomies (subventions) et de moyens (financiers et humains) pour assurer un déploiement à plus large échelle.
		Filière biogaz	-	Malgré la présence d'opérateurs biogaz expérimentés, il n'y a pas de filière à proprement dite. Les acteurs ne communiquent pas suffisamment entre eux et ne mutualisent pas leurs expériences pour renforcer la filière et communiquer à plus large échelle.

		Facteurs	-- / - / + / ++	Commentaires
Facteurs économiques	Potentiels macro-économiques	Besoins et demandes	+	Les besoins en combustibles alternatifs pour la cuisson et l'éclairage sont réels (déforestation, problèmes sanitaires, dépenses importantes en combustibles, etc.) mais la demande reste faible (technologies alternatives méconnues).
		Solutions de financements	-	Les financements proviennent uniquement d'ONGs internationales. Le gouvernement ne propose pas encore d'aide public au déploiement du biogaz. Les solutions de micro-finance se développent mais restent à des taux très élevés et ne sont pas accessibles pour les ménages ruraux. La finance carbone doit être explorée.
	Potentiels micro-économiques	Apports financiers	--	Les ménages ruraux n'ont pas la capacité financière d'investir dans l'installation d'un bio-digesteur. Même le seul apport en nature (briques, sable, gravier) peut être difficile à rassembler pour les ménages.
		Gains économiques	+	Les gains économiques générés par l'utilisation d'un biodigesteur par un ménage rural moyen permettraient (selon cette étude) d'avoir un retour sur investissement au bout de 5 ans et de générer des bénéfices par la suite.

		Facteurs	-- / - / + / ++	Commentaires
Facteurs sociaux	Amélioration des conditions de vie	Précarité énergétique	++	Les ménages ruraux sont en grande précarité énergétique. Plus de 98% utilisent le bois-énergie pour la cuisson, moins de 5% ont accès à l'électricité, etc.
		Problèmes sanitaires	+	Les problèmes sanitaires liés à l'utilisation du bois-énergie sont réels et causent plus de 12 000 décès par an.
	Apropiation de la technologie	Changements d'habitudes et frains culturels	-	Les changements de pratiques sont difficiles. Les habitudes, notamment culinaires, sont très anciennes. Un biodigester demande la réorganisation de tout l'espace de vie des familles (intérieur - cuisine et extérieur - étables, stabulation, bio-digester, etc.). Les freins culturels sont nombreux à Madagascar.
		Niveau d'éducation	-	Le niveau d'éducation des ménages ruraux est encore faible et ne permet pas toujours aux membres décisionnaires de la famille de comprendre tous les bénéfices d'un biodigester pour une meilleure appropriation. L'implication des femmes est essentiel.
		Expériences précédentes	++	Parmi tous les projets de biogaz identifiés lors de cette étude, aucune mauvaise expérience n'a été recensée. Les projets menés ont toujours été bénéfiques aux ménages bénéficiaires et bien acceptés par les autorités locales. L'image de la technologie est bonne.

		Facteurs	- / -- / + / ++	Commentaires
Facteurs environnementaux		Déforestation, Erosion, GES, etc.	++	Madagascar connaît un taux de déforestation très critique et qui ne cesse d'augmenter. Les impacts environnementaux sont très importants. L'érosion des sols provoque des réductions des rendements. La biodiversité est menacée. Les émissions de GES augmentent. Le biogaz est une opportunité écologique et donc économique pour les états (réduction des dépenses publiques).
Facteurs institutionnels		Stabilité politique	+	Le pays a connu une instabilité politique forte. Chaque crise politique a eu des effets très néfastes sur le déroulement des projets. Depuis peu, le pays semble stabilisé. Il n'est pas en guerre. Attention tout de même aux prochaines élections de fin 2018.
		Politique environnementale et énergétique	-	La Nouvelle Politique Environnementale publiée par le gouvernement en 2015 a des objectifs ambitieux de développement des énergies renouvelables et alternatives à l'utilisation du bois-énergie. Cependant, les moyens mis en œuvre restent très faibles et ne permettent pas leur réalisation concrète. Aucune réglementation ou disposition financière ne favorise à ce jour le développement de la technologie biogaz, bien qu'une loi sur les bio-énergies soit en cours de rédaction.
		Implication et volonté	+	Il y a une prise de conscience au niveau national. Aux niveaux régional et local, les institutions sont généralement motivées et impliquées dans le déploiement des projets biogaz.

9 ANNEXES FOYERS AMELIORES

9.1 Description détaillée des acteurs du secteur foyers améliorés

9.1.1 Les opérateurs (producteurs et distributeurs)

ADES

Présentation et historique

ADES (Association de Développement de l'Énergie Solaire) est une association de droit Suisse qui œuvre à Madagascar depuis 2000 dans le secteur des énergies de cuisson. En 1998, suite au constat de la forte pression sur les forêts dues au mode de cuisson des ménages ruraux, Mme Regula Ochsner décide de mettre en place une solution pour promouvoir une utilisation plus rationnelle des ressources en bois. Elle s'associe avec Eduard Probst, menuisier retraité de Hölstein qui développe des fours solaires dans le Sahara depuis 1983. En 2000, un premier container de fours solaires est importé et vendu aux alentours de Tuléar où ils rencontrent un vif succès grâce au soutien du professeur Daniel Ramampihirika, enseignant chercheur en énergies renouvelables à l'université de Tuléar et président d'une association locale pour la protection de l'environnement. Jusqu'en 2009 l'organisation ne fournit que des fours solaires. A partir de 2010, ADES commence à diffuser des foyers améliorés qui ne demandent presque aucune modification des habitudes de cuisson et réalisent également d'importantes économies en bois. Aujourd'hui, les ventes de foyers améliorés augmentent tandis que celles des fours solaires vendus diminuent. Bien que l'activité principale d'ADES soit la production et la commercialisation des foyers améliorés à bois-énergie et des fours solaires, l'association travaille également à l'éducation à l'environnement (en milieu scolaire, auprès d'institutions – hôpitaux, prisons, cantines scolaires, etc., dans les villages) ou au financement de projets de reboisement.

Modèles de foyers améliorés

ADES commercialise des fours solaires et des cuiseurs solaires paraboliques qui permettent de ne plus utiliser de bois-énergie⁵⁶.

L'association produit et diffuse également des foyers performants à bois et à charbon. Pour chacun de ces combustibles, ADES propose 3 modèles différents :

- Petit modèle (28 cm de diamètre) principalement destiné aux ménages
- Moyen modèle (45 cm de diamètre) destiné principalement aux gargotes, restaurateurs ou ménages en famille nombreuse
- Grand modèle (60 cm de diamètre) destiné principalement aux institutions comme les hôpitaux, cantines scolaires, prisons, etc.

Ces foyers performants, principalement constitués d'argile malaxée et cuite et de chamotte pour la chambre de combustion et de tôle métallique peinte pour la coque ont une durée de vie estimée entre 4 et 6 ans et ont une garantie de trois ans. Selon le modèle de foyer et son utilisation, ils permettent

une économie de bois de 50 % en moyenne. ADES est accréditée auprès du Gold Standard ce qui lui permet de percevoir des crédits carbone lors de la vente de chaque foyer. Entre 2008 et 2016, l'ADES a permis de réduire près de 800 000 tonnes d'émission de CO₂ grâce à la commercialisation ses foyers améliorés.

Production des foyers améliorés

Ateliers de production

Afin de répondre à la demande croissante en foyer amélioré du pays, ADES dispose de deux ateliers de production et sous-traite une partie de sa production à deux ateliers externes (Berma à Fianarantsoa et Bionerr à Imerintsiasika). Le premier atelier ADES situé à Tuléar est



⁵⁶<http://www.adesolaire.org/index.php/fr/qui-sommes-nous-fr/notre-modeles-de-cuiseurs-fr>

principalement chargé de la production des foyers solaires (fours et paraboles) et des seaux métalliques des foyers performants à bois-énergie. L'atelier de Fianarantsoa produit les chambres à combustion en argile et s'occupe de la peinture des coques métalliques et de l'assemblage final des corps en argile avec les seaux métalliques. Cet atelier a une capacité de production mensuelle d'environ 2000 foyers. Actuellement, une grande partie des foyers produits et vendus par l'ADES sont les foyers petit modèle à charbon, ce qui est principalement dû à la demande. En revanche, l'association mise beaucoup sur la valorisation des foyers à bois.

La production est organisée selon les commandes provenant des différents centres ADES, des revendeurs particuliers sous contrat avec ADES ou des projets tels que celui mené par WWF (cf. description dans la Partie 9.1.2). Les foyers sont en priorité produits dans les ateliers ADES ou les plus à proximité des lieux de livraison pour limiter les frais de transport.

Ressources humaines et matériels

ADES emploie près de 150 personnes directement dont 15 postes de Direction ou de responsabilité supérieure, une soixantaine de techniciens, formateurs et animateurs ainsi que plus de 70 ouvriers techniques, agents de surface et de sécurité. Par ailleurs, l'association travaille avec près de 92 revendeurs de foyers améliorés à travers toute l'île.

Souhaitant augmenter sa capacité de production, ADES a beaucoup investi dans du matériel de production afin de produire à l'échelle semi-industrielle. L'association a également installé un nouveau four de cuisson des argiles permettant d'utiliser des briquettes de biomasse (*Arthemisia*) livré par BIONEXX. Ce dernier a permis à l'association de doubler sa production par cuisson, de réduire le temps de cuisson de près de 40 %, de réduire le taux de casse à la cuisson, d'améliorer la qualité de l'argile cuite de la chambre à combustion grâce à une cuisson haute température mais surtout de réduire de moitié la consommation en combustible.

Diffusion des foyers améliorés et communication

Modes de diffusion

ADES diffuse ses modèles de foyers performants à charbon et à bois *via* trois canaux de distribution qui sont ses propres centres, des revendeurs accrédités et par des projets menés par d'autres ONGs comme WWF. En dehors des projets ponctuels comme celui mené par le WWF qui proposent des tarifs très bas, l'association a une politique de prix unique (10 000 par foyer à bois et 15 000 Ar par foyer à charbon) dans tous ses points de vente. Jusqu'à maintenant, les consommateurs préfèrent encore les petits foyers à charbon pour de raisons de prix, de facilité et d'accessibilité du combustible.

Les Centres ADES

L'association dispose de 8 centres à travers tout le pays qui lui permettent d'assurer la vente des foyers performants mais également de réaliser des activités de sensibilisation et des formations à l'utilisation de ces foyers à Antananarivo, Ejeda, Fianarantsoa, Mahajanga, Morondava, Tuléar, Antsirabe et à travers toute l'île grâce à un Centre Mobil sous forme de camion.

Les revendeurs

ADES commercialise également ses foyers performants par l'intermédiaire de revendeurs particuliers sélectionnés sur la motivation et formés par l'association à l'utilisation des foyers ainsi qu'à la gestion administrative de base. Ces derniers signent un contrat d'engagement avec l'association qui leur accorde, lorsque cela est possible, un crédit qu'ils remboursent au fur et à mesure de leur vente. ADES travaille actuellement avec 92 revendeurs qui achètent les foyers au même prix et sont livrés à domicile. Actuellement, ADES est en train de revoir ce principe de vente via revendeur afin de mieux répondre aux exigences du terrain.

Les projets

Enfin, ADES travaille également avec des ONGs qui réalisent des campagnes de sensibilisation et de diffusion des foyers performants dans leurs zones d'action. En général, ces projets ponctuels, proposent les foyers à des prix très bas. Leur objectif est de réaliser des campagnes de sensibilisation massives à l'aide d'une « promotion » pour faire connaître cette technologie et démontrer leurs bénéfices auprès de la population. Ces projets permettent à ADES de diffuser ses foyers dans des zones très enclavées dans lesquelles elle ne peut pas assurer la livraison des



foyers pour les revendeurs. Cependant, cette technique de « distribution massive à bas prix » n'est plus adaptée et peut nuire à ADES mais également aux autres producteurs et revendeurs de foyers améliorés. En effet, les clients ne veulent plus acheter au prix réel et l'objectif de diffusion sur le long terme de foyers par un réseau de production et de distribution local et durable est alors entravé.

Sensibilisation et formation

En plus de la production et commercialisation des foyers améliorés, ADES réalise également des activités de sensibilisation des populations cibles (femmes et enfants des ménages utilisant du bois-énergie pour la cuisson). Pour cela, des animateurs interviennent dans les écoles des zones ciblées pour informer les enfants et les instituteurs des aspects néfastes de la déforestation ainsi que des comportements à adopter pour sa protection à l'aide de matériels pédagogiques innovants. Par ailleurs, l'association organise des séances de démonstration culinaire pour sensibiliser les participants à l'usage rationnelle des ressources naturelles par l'utilisation du foyer performant dans les villages ou centres ADES.

Enfin, ADES accueille très régulièrement des étudiants en stage afin de les accompagner dans leur évolution professionnelle.

Modèle économique

ADES souhaite que ses foyers améliorés soient vendus sur l'ensemble du territoire quelle que soit la zone (ville, village enclavé, etc.). Actuellement, les revenus principaux de l'association sont des subventions obtenues via des dons de particuliers, des financements privés (entreprises ou associations) ou encore la finance carbone par l'intermédiaire du marché volontaire. Bien que la vente des foyers participe aux financements des activités de l'association, les revenus liés à la vente ne suffisent pas à assurer la viabilité de leurs activités. En effet, en dehors des coûts de production qui sont relativement élevés, les principales dépenses sont réalisées pour la sensibilisation et la diffusion des produits partout à Madagascar ainsi que pour le transport (à cause des mauvaises conditions de circulation, de la dégradation des routes). L'objectif d'ADES est de s'approcher de plus en plus d'un équilibre financier permettant de pérenniser voire d'augmenter la production pour les années à venir avec une réduction considérable de l'aide par des subventions autres que la finance carbone.

Suivi des bénéficiaires et foyers améliorés diffusés

ADES réalise un suivi actif des bénéficiaires / clients par la surveillance de l'utilisation des foyers (base du calcul des crédits carbonés) et le passage régulier des animateurs dans les zones de commercialisation des foyers performants. Chaque foyer est vendu avec une garantie de 3 ans. Les clients peuvent se rendre au centre dans lequel ils ont acheté leur foyer ou auprès de leur revendeur en cas de pièces endommagées (le plus souvent les grilles, mais aussi les seaux métalliques voire la chambre de combustion). Sous garantie, ces dernières seront remplacées.

Les partenaires

Partenaires opérationnels

Pour produire ses foyers, ADES fait régulièrement appel à deux ateliers de production.

- Berma est un artisan entrepreneur qui produit des chambres à combustion pour ADES. Il a été formé et accompagné techniquement et financièrement par l'association lors du lancement de ses activités et ADES est un de ses clients principaux.
- Bionerr, entreprise qui fournit des solutions économiques aux problèmes énergétiques à partir de l'utilisation des énergies renouvelables (huiles végétales carburant, gazéification de biomasse, production de foyers améliorés, études techniques) produit également des foyers performants pour ADES. Par ailleurs, cette entreprise a également fabriqué le four à briques réfractaires.
- BIONEXX fournit ADES en briquettes fabriquée à partir des résidus d'Artemesia, combustible principal de ce four.
- L'entreprise SOALIA, fournit les poses marmite, l'anse des foyers et les poses bois.
- RAMANANJATO Rolland, un atelier de fonderie d'aluminium artisanale à Tuléar, collabore avec ADES pour la confection des tiges cuivre pour la soudure à point (recyclage de résidus de cuivre) et le recyclage des déchets des tôles de la fabrication des seaux de l'ADES pour en faire d'autres objets métalliques.

Pour la diffusion de ses foyers, ADES travaille principalement avec des revendeurs indépendants à travers tout le pays mais également avec d'autres organisations.

- Les ONG WWF (dans la province de Tuléar et le district d'Ambilobe) et WHH (dans la province de Tuléar) ont réalisé diverses campagnes de sensibilisation et de diffusion des foyers performants (cf. descriptions dans la partie correspondante) ;
- HERi Madagascar, entreprise d'installation de kiosques énergétiques solaires qui dans plus de 100 villages ruraux à Madagascar proposent des produits de basse consommation à haute valeur sociétale dont les foyers performants ADES.

Partenaires financiers

Le financement de l'association, en dehors du revenu lié à la vente des foyers à bas prix, s'effectue principalement via des subventions :

- Des dons de particuliers ou d'organismes privés) ;
- La finance carbone (label Gold Standard) ;
- Des subventions provenant d'EnDEV qui ont permis de financer partiellement
 - La mise en place de l'atelier de production à Fianarantsoa ;
 - L'installation du Centre ADES mobile (un camion équipé de bureau et d'un espace de vente). Ce camion effectue des ventes ambulantes dans les zones non-couvertes par ADES (principalement dans la partie Nord du pays).

Partenaires institutionnels

ADES travaille avec de nombreux autres partenaires comme :

- WWF, WHH, Programme Matoy, ASITY, AroAla qui accompagnent l'association dans les campagnes de sensibilisation et de diffusion des foyers performants ;
- VOZAMA et AFA mènent des activités de reboisement (2 arbres sont replantés pour chaque foyer ADES vendu) grâce au financement de l'association. Depuis 2016, plus de 70 000 ont été replantés.
- Inter-Aide, la Fondation AGA Khan, le Diocèse Maitso soutiennent ADES dans la vulgarisation des foyers améliorés ADES auprès de la population ;
- SOL TECH fournit le réchaud parabole solaire à ADES.

Perspectives

La perspective d'ADES est de devenir de plus en plus performant dans la lutte contre la destruction des forêts malgaches à travers l'amélioration de la technique de cuisson et donc la réduction de l'utilisation de bois et charbon de bois

TANDAVANALA

Présentation et historique

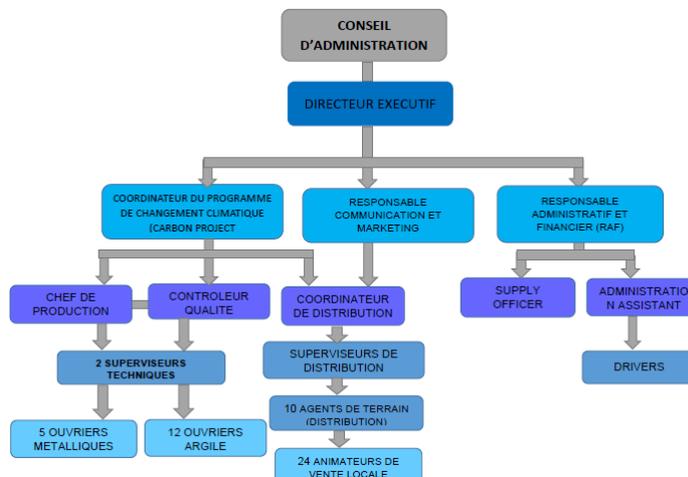
Historique et présentation générale de Tandavanala

Entre 1999 et 2008, l'ONG Tandavanala était le « Comité Multi Local de Planification (CMP) » qui réunissait les autorités locales et régionales ainsi que les acteurs de la gestion des Ressources Naturelles (RN) et du développement rural. Ce comité avait été créé face à la prise de conscience des limites des actions environnementales à Madagascar (insuffisance de prise de responsabilité et de concertation des autorités et une situation économique et sociale fragile des zones rurales de la zone – période de soudure).

Depuis 2008, elle s'est convertie en ONG pour plus d'autonomie dans la mise en œuvre de sa vision (« Corridor forestier mieux géré et bien gouverné au service des communautés locales vivant dans une meilleure condition de vie ») et sa mission. Ses axes stratégiques sont la gouvernance des ressources naturelles, la sécurité alimentaire et conditions sociaux économiques des communautés locales (dans lequel se trouvent les activités liées à la diffusion de foyers améliorés), le changement climatique et l'information, Education, Communication, Formation. Elle travaille principalement dans la région de Fianarantsoa.

Projet foyer amélioré

Initialement, l'ONG formait directement les bénéficiaires à la confection du foyer amélioré KAMADO (cf. description du projet JICA en Partie 5.2.5) mais depuis fin 2014, Tandavanala fabrique ses propres foyers améliorés à bois et à charbon (appelé Tsinjoharena) via son atelier de production. L'ONG a reçu un appui technique important du CNRIT qui a conçu ces foyers améliorés et l'a accompagné à mettre en place son atelier de production. Tandavanala diffuse ses foyers auprès de ménages ruraux et urbains, associations paysannes locales, COBA ou groupements de femmes. L'ONG peut également les commercialiser auprès d'autres organismes qui mènent des projets de diffusion à Madagascar. 36 personnes travaillent pour l'ONG mais toutes ne sont pas impliquées dans le projet de production-diffusion des foyers améliorés.



Modèles de foyers améliorés

Les modèles de foyers améliorés proposés par Tandavanala (à bois en noir et à charbon en rouge) ont été conçus par le CNRIT et sont validés par les normes Gold Standard et MDP. Ils sont fabriqués à partir d'argile pour la chambre de combustion et de tôles métallique pour la coque.



Caractéristiques techniques du foyer à bois

Tsinjoharena	à bois
Dimension (hauteur x diamètre)	22cm x 26cm
Poids	6,8 kg
Matériau de construction	Argile et fer
Durée de vie estimée	5,5 ans
Efficacité thermique	31,1 %
Economie de bois / Toko Telo	66 %
Emission de CO2 évitée	3,31 tCO2/an

Des tests de performance sur le foyer à bois (TEE – Test d'Ebullition de l'Eau et TCC – Test de Cuisine Contrôlée) ont été réalisés en laboratoire ainsi que dans des conditions réelles auprès de 100 ménages. Le foyer à bois permettrait donc d'économiser 66 % du bois par rapport au foyer traditionnel Toko Telo. Le temps de cuisson pour un repas classique serait réduit de 30% et le rejet de 3,31 tonnes de CO2 serait évité chaque année (Méthodologie : AMSIIG/ CDM).



Caractéristiques techniques du foyer à charbon

Tsinjoharena	à charbon
Dimension (hauteur x diamètre)	20cm x 26cm
Poids	4,5 kg
Matériau de construction	Argile et fer
Durée de vie estimée	5,5 ans
Efficacité thermique	54 %
Economie de charbon / Fatapera	27 %
Emission de CO2 évitée	3,62 tCO2/an

De même, les tests de performance réalisés sur le foyer à charbon de Tandavanala montrent qu'il permet d'économiser 27 % de charbon par rapport au foyer traditionnel Fatapera et d'éviter le rejet de 3,62 tonnes de CO2 par an (Méthodologie : AMSIIG/ CDM). Enfin, la durée de vie de ces foyers est estimée à 5.5 ans.

Production des foyers améliorés

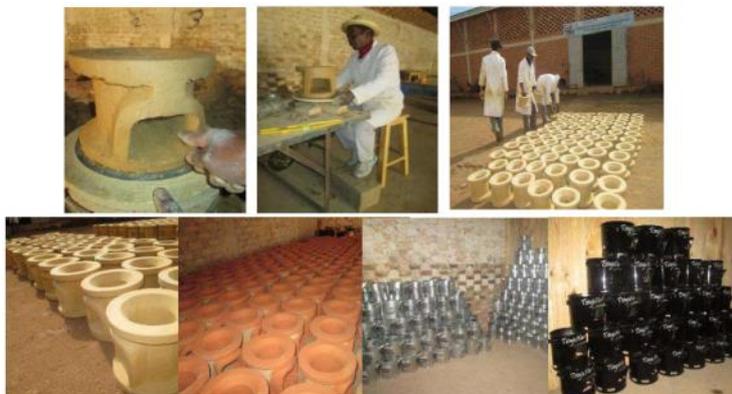
Historique

Tandavanala a mis en place son atelier de production de foyers améliorés à Fianarantsoa en 2013-2014 grâce au soutien du CNRIT. Ce dernier a formé les premiers ouvriers-artisans et a fait des recommandations pour les achats des machines de production.

Matières premières

Pour la fabrication des foyers, l'atelier s'approvisionne en :

- Argile pour la chambre de combustion grâce à la collecte d'argile via la location de terrain argileux à des particuliers ;
- Feuille métallique pour la coque, barres de fer pour le support de la marmite et peinture dans les quincailleries locales.



Par ailleurs, l'atelier utilise de la balle de riz pour la cuisson des foyers dans un four artisanal d'une capacité de 200 foyers par cuisson. Les pots cassés lors de la cuisson sont récupérés pour en faire de la chamotte et la cendre de la cuisson (des balles de riz) utilisée pour le démoulage des chambres de combustion.

Ressources humaines et matériels

L'atelier de Tandavanala emploie :

- 2 techniciens qui sont chargés de la gestion de la production et de la distribution des foyers ;
- 7 ouvriers qui sont chargés de la confection de l'argile intérieure du foyer et réalisent donc le modelage de la pâte d'argile ;

Pour assurer la fabrication des chambres de combustion des foyers (travail de l'argile), les techniciens et ouvriers travaillent avec :

- Un broyeur et un malaxeur mécanisés ;
- De tours manuels (table de potier) et de moules.

Concernant la fabrication des coques métalliques, Tandavanala travaille avec 10 familles d'artisans locaux qui ont été initialement formées durant un Programme National d'Economie de Bois et Energie (PNEBE) mené par le CNRIT. Ces artisans ont bénéficié d'un renforcement de capacités et d'une mise à niveau par Tandavanala. Ils utilisent principalement des étaux, scies à métaux, ébarbeuses (éliminer les bavures superficielles) et perceuses.

L'atelier dispose également d'un local de stockage qui permet de stocker près de 5 000 foyers. Ces ressources humaines et matérielles ainsi que le processus de fabrication permettraient à Tandavanala d'avoir une capacité de production comprise entre 800 et 1000 foyers par mois. Néanmoins, cette capacité de production est fortement tributaire de la disponibilité des ressources financières pour assurer l'approvisionnement en matières premières onéreuses telles que les feuilles métalliques.

Mode de diffusion des foyers améliorés

Historique de diffusion

Depuis 2010, l'expérience de Tandavanala dans les foyers améliorés peut se découper en 4 étapes principales.

	Subventions	Appuis	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Formation à la fabrication des foyers KAMADO	WWF	JICA								
Mise en place de l'unité de production des foyers	ICCO	CNRIT								
Phase I : Diffusion des foyers Tsinjoharena à bois	WWF	CNRIT								
Phase I : Diffusion des foyers Tsinjoharena à charbon	Tandavanala	CNRIT								

Formation à la fabrication de foyers KAMADO

Depuis 2010, Tandavanala forme des paysans à la confection du modèle de foyer amélioré KAMADO avec un appui technique initial de l'ONG japonaise JICA. Ce dernier ne nécessite que des matériaux locaux et peut être fabriqué et donc réparé par les ménages eux-mêmes. Depuis qu'elle produit ses propres foyers, l'ONG ne forme plus que des paysans des zones les plus reculées qui ne peuvent pas avoir accès aux autres foyers améliorés. Les paysans bénéficiaires devront à leur tour former 5 autres paysans dans le village afin de diffuser ce savoir-faire. Depuis le lancement de cette initiative (financée par WWF), près de 5000 foyers KAMADO ont été fabriqués.



Mise en place de l'unité de production de foyers Tsinjoharena

Entre 2013 et 2014, Tandavanala a mis en place son unité de production de foyers améliorés. Pour cela, l'ONG a reçu :

- Un appui technique du CNRIT qui a réalisé la conception des modèles de foyers améliorés, formé les premiers ouvriers-artisans à la fabrication des foyers Tsinjoharena et conseillé Tandavanala dans la mise en place de sa chaîne de production ;
- Un appui financier de l'ICCO Cooperation⁵⁷ (à titre de subvention) pour le développement du projet (consultation publique, élaboration de PDD, conduite des tests)

Phase I : diffusion des foyers Tsinjoharena à bois et charbon :



Entre 2015 et début 2017, Tandavanala a bénéficié d'une subvention du WWF qui lui a permis de diffuser plus de 2 500 foyers améliorés à bois. Ils étaient vendus par l'intermédiaire d'événements dans les villages ciblés de leur zone d'intervention à un prix très bas compte tenu du coût de production (5 000 Ar - prix déterminé suite à une consultation publique). L'ONG ne travaillait donc pas avec des points de vente fixes mais en ventes itinérantes systématiquement accompagnées de séances de démonstration et de sensibilisation aux bénéfices environnementaux, sociaux et

économiques des foyers améliorés ainsi que des formations à leur bonne utilisation. Ces dernières ont également permis de commercialiser quelques foyers améliorés à charbon à un prix non subventionné (12 000 Ar).

En 2017, Tandavanala continue la production de foyers améliorés à bois et à charbon mais ne commercialise que le modèle à charbon qui n'est pas encore suffisamment connu par la population et nécessiterait une campagne de sensibilisation et promotion. Le foyer à bois, plus connu des populations rurales ciblées grâce aux campagnes menées par WWF est produit et stocké afin d'organiser une diffusion massive.

Suivi des bénéficiaires

Lors de la commercialisation des foyers, tous les bénéficiaires sont répertoriés dans une base de données (grâce à l'utilisation du logiciel AkvoFlow). Ils doivent systématiquement remplir une fiche qui est utilisée pour l'obtention des crédits carbone et le suivi des bénéficiaires. L'attribution d'un numéro de série unique à chaque foyer amélioré fait partie du système de suivi en réponse à la norme requise de projet carbone. Tandavanala réalise des visites périodiques auprès des bénéficiaires durant lesquelles elle effectue des enquêtes de satisfaction qui s'avèrent pour le moment très positives. Ces dernières sont réalisées par le vérificateur DOE (Designated Operating Entity) certifié par l'UNFCCC.



Dans le cas d'une défaillance d'un foyer, Tandavanala est contraint de réaliser un diagnostic par un technicien spécialisé et de remplacer le foyer (gratuitement) en cas de défaillance irréparable à cause des engagements liés aux crédits carbone.

Modèle économique

⁵⁷<https://www.icco-cooperation.org/en/Expertise>

L'ONG souhaite mettre en place des solutions (Phase II en lancement) afin d'aboutir à un modèle économique viable et durable sans subvention. Ainsi, Tandavanala :

- Travaille depuis plusieurs années à l'accréditation carbone en partenariat avec l'ICCO Cooperation et WWF. L'ONG a obtenu la *Letter of Approval (LoA)* de l'Autorité Nationale Désignée (AND). Le projet est actuellement enregistré dans le registre de l'UNFCCC depuis le 04 avril 2017 après la validation du DOE (Designated Operating Entity) ;
- Souhaite commercialiser ses foyers améliorés à un prix plus *réel* et proche des coûts de production ;
- Doit réduire ses frais de production et de distribution (amélioration des processus).

Les foyers seront toujours commercialisés par vague lors d'événements organisés par l'ONG dans les villages ciblés, mais ils seront également proposés sur les marchés stratégiques de la zone d'action par les membres de l'équipe de Tandavanala.

De plus, dans l'optique de commercialiser les foyers dans des régions plus éloignées que leurs zones d'action, Tandavanala devra trouver des solutions de prise en charge des frais de transport qui peuvent être conséquents.

Les partenaires

Partenaires opérationnels

- COBA et associations de femmes pour la sensibilisation, partages et témoignages
- Artisans de Fianarantsoa : confection des coques métalliques des foyers
- CNRIT : appui à la conception des modèles de foyers améliorés (R&D), formation des artisans, accompagnement à la mise en place de l'atelier de production ;

Partenaires financiers

- WWF : appui financier dans la production et distribution
- ICCO : appui technique et institutionnel dans la recherche de financement et d'acheteurs de crédits carbone

Partenaires institutionnels

- Ministère de l'Environnement de l'Ecologie et des Forêts : validation au niveau national des documents de projet (et crédit carbone qui doit se faire en lien avec les autorités nationales)
- Ministère de l'Energie et des mines : ministère de tutelle / appui technique

Perspectives

Dans un premier temps, Tandavanala a initié une démarche de certification auprès de Gold Standard⁵⁸ pour l'obtention de crédits carbone mais a finalement opté pour une démarche de MDP (Mécanisme de Développement Propre). Le contrat de vente des crédits a été signé et la démarche validée auprès du gouvernement (Ministère de l'Environnement et de l'Ecologie).

En revanche, ces fonds *carbone* ne peuvent être débloqués tant que l'ONG ne dépasse un seuil de production et diffusion minimum fixé par le MDP. Actuellement, Tandavanala n'a pas encore atteint ce seuil faute de trésorerie pour l'achat des matières premières, qui limite la capacité de production de l'ONG. En conséquence, Tandavanala recherche des fonds pour augmenter sa production et atteindre ce seuil qui lui permettrait d'obtenir la subvention carbone et donc d'augmenter ses revenus pour développer son activité et atteindre une pérennité économique sur le long terme.

9.1.2 Les projets de diffusion de foyers améliorés

WWF

Présentation et historique

Historique et présentation générale

Présent à Madagascar depuis 1963⁵⁹, le WWF déploie des solutions permettant de répondre à sa vision « une biodiversité préservée et des ressources naturelles mieux gérées pour un développement soutenable du territoire au profit de tous ». Dans cette optique, l'organisme contribue à la promotion de la gestion durable des ressources en bois-énergie, en agissant aussi bien au niveau de l'offre durable que de la consommation responsable en bois-énergie. Pour ce

⁵⁸<http://www.info-compensation-carbone.com/comprendre/les-standards-registres-carbone/>

⁵⁹<http://www.wwf.fr/?2340/WWF-50-ANS-A-MADAGASCAR>

faire, le WWF/MDCO œuvre en partenariat avec les institutions étatiques concernés, les ONG, le secteur privé, et la Société Civile, y compris les communautés locales et les consommateurs.

Projet foyer amélioré

Le WWF/MDCO travaille en tant que catalyseur dans la promotion de l'adoption des équipements de cuisson économes dans ses paysages prioritaires. Depuis 2008, l'organisme travaille par exemple dans la Région du Sud-Ouest, où les prélèvements de bois énergie sont très importants, alors que les ressources se régénèrent délicatement. Des analyses contextuelles de la situation offre/demande ont permis de mettre en place une stratégie de consommation responsable en bois-énergie de la population de cette zone. Depuis, cette approche menée dans la Région Sud-Ouest a été capitalisée et dupliquée dans d'autres régions d'intervention de MDCO. Elle a également permis d'alimenter les réflexions au niveau national ainsi que des actions de mobilisation et de sensibilisation avec de nouveaux partenaires. En 2012 par exemple, l'organisme a initié une campagne de promotion par la tenue d'une foire « Foyer amélioré » à Antananarivo dans le cadre de « Earthhour ».



Présentation des projets de diffusion des foyers améliorés

En Mars 2013, WWF et l'opérateur ADES se sont mobilisés pour mettre en place une vente promotionnelle de 3000 équipements de cuisson économe à Tuléar. Cette opération ayant été un succès, d'autres actions ont été organisées conjointement et à ce jour, près de 5500 foyers améliorés ont été diffusés dans cette zone d'intervention.

A partir de 2015, suite au constat que certaines classes sociales n'avaient pas les moyens d'acheter le foyer amélioré proposé par ADES (2 à 3 fois plus cher que les foyers artisanaux), le WWF a décidé de travailler en partenariat avec la GIZ, principalement dans les régions Atsimo-Andefana et DIANA pour l'appui de producteurs locaux de foyers améliorés. Ainsi, le WWF appuie les producteurs dans l'obtention de matériel permettant l'augmentation du rythme de production, tandis que la GIZ les accompagne dans le renforcement de leur capacité dans la gestion de leur microentreprise. A ce jour, cette initiative a permis de mettre en place 5 ateliers qui produisent près de 6000 foyers de cuisson économe par an.

En parallèle de ces projets, le WWF a également travaillé à la promotion de la fabrication du foyer amélioré KAMADO au niveau des communautés locales en partenariat avec les jeunes membres du Club Vintsy et des ONGs et associations locales comme Tandavanala. La formation s'effectuait par transfert de compétences en cascade. Les formateurs étaient en charge de former des agents relais des Comités de Base (COBA) locaux et des clubs Vintsy qui formaient à leur tour les bénéficiaires finaux via l'organisation de formations collectives. Ces formations étaient gratuites et financées par le WWF. Les bénéficiaires sont également sensibilisés sur les risques environnementaux liés à la déforestation et aux bénéfices d'une consommation responsable en combustible ligneux.



La mangrove de la région DIANA étant particulièrement menacée, le WWF a choisi de déployer un projet de diffusion des foyers améliorés en 2016. Dans un premier temps, le WWF a renouvelé son partenariat avec ADES afin de commercialiser des foyers améliorés dans le district d'Ambilobe à des prix réduits. Une étude est en cours afin de mesurer le taux d'adoption des foyers et de mieux comprendre les facteurs clés d'appropriation de la technologie dans la région. Près de 6000 foyers ont été diffusés. Maintenant, le WWF souhaite réduire les opérations de « diffusion massive » sur une durée déterminée pour s'orienter vers des solutions de diffusion plus pérennes et locales.

La mangrove de la région DIANA étant particulièrement menacée, le WWF a choisi de déployer un projet de diffusion des foyers améliorés en 2016. Dans un premier temps, le WWF a renouvelé son partenariat avec ADES afin de commercialiser des foyers améliorés dans le district d'Ambilobe à des prix réduits. Une étude est en cours afin de mesurer le taux d'adoption des foyers et de mieux comprendre les facteurs clés d'appropriation de la technologie dans la région. Près de 6000 foyers ont été diffusés. Maintenant, le WWF souhaite réduire les opérations de « diffusion massive » sur une durée déterminée pour s'orienter vers des solutions de diffusion plus pérennes et locales.

Les partenaires

Partenaires opérationnels

- ADES : association productrice et partenaire des projets de diffusion des foyers améliorés à bois et charbon dans les zones urbaines de Tuléar et dans le district d'Ambilobe ;

- Tandavanala : ONG partenaire sur l'aspect formation des COBA à la fabrication des foyers améliorés KAMADO en milieu rural de la région Hautes Matsiatra ;
- GIZ : gestionnaire du projet de formation d'artisans locaux à la fabrication et la commercialisation de foyers améliorés appuyé par le WWF sur les aspects marketing et fourniture de matériel dans les Régions d'Atsimo-Andrefana et DIANA ;
- Club Vintsy : formation et appui dans les actions de sensibilisation.

Partenaires financiers

Les projets menés à Madagascar par le WWF, liés à la promotion des équipements de cuisson économes sont financés par plusieurs bailleurs, dont l'UE à travers FacilityEnergy I, le WWF Suisse ou BMZ à travers le WWF Allemagne.

D'autres actions de *crowdfunding* ont été menées dans des situations d'urgence comme le passage d'un cyclone à Tuléar pour octroyer aux ménages des équipements de cuisson économe.

Partenaires institutionnels

Dans chaque zone d'intervention du WWF, l'organisme travaille avec les institutions locales au niveau des communes, des Fokontany et des villages.

Dans le cadre du projet de formation des bénéficiaires à la fabrication des foyers améliorés KAMADO, les communautés locales responsables de la gestion des ressources naturelles appelées COBA sont les intermédiaires privilégiés du WWF.

9.1.3 Les organismes d'appui aux producteurs

ECO-GIZ

Présentation et historique

La GIZ à Madagascar

La GIZ⁶⁰ est l'Agence de Coopération Internationale Allemande pour le Développement qui agit dans de nombreux pays dans le but de *façonner un futur qui vaut la peine d'être vécu dans le monde entier*.

Présente à Madagascar depuis 1982, la GIZ travaille à l'accompagnement du gouvernement sur les politiques environnementales et la protection et gestion des ressources naturelles à Madagascar. Cela se concrétise par exemple par la mise en place de projets de reboisement, de formation d'acteurs locaux à la mise en place de stratégie et plans de gestion des territoires. La GIZ accompagne également les institutions sur les politiques énergétiques (mécanismes de financement, réglementation, etc.), la création et le renforcement de filières (miel, huile, viande, etc.), la gestion de crises (catastrophes naturelles) et la coopération avec le secteur privé pour réduire la vulnérabilité des populations locales.

Présentation et historique du projet PAGE

Dans ce contexte, la GIZ mène, en partenariat avec le Ministère de l'Environnement de l'Ecologie de la Mer et des Forêts (MEEMF), un Programme d'Appui à la Gestion de l'Environnement (PAGE) qui fait suite à divers programmes menés depuis 1986 par la Banque Mondiale, l'USAID et le Ministère de l'Energie et des Mines. Depuis 2015, une Phase 2 qui a pour objectif d'améliorer les conditions pour une protection et utilisation durables des ressources naturelles à Madagascar par des acteurs pertinents a été lancée. La GIZ a mandaté le bureau d'étude ECO consulting pour mettre en œuvre la seconde composante de cette Phase 2 qui consiste à améliorer la diffusion et la professionnalisation de la chaîne de valeur énergie biomasse (utilisateurs de surfaces reboisées, producteurs de charbon, vendeurs de charbon, producteurs de foyers améliorés, etc.) pour réduire l'utilisation des combustibles une des causes majeures de pressions sur les ressources naturelles/forestières dans 3 régions DIANA, Boeny et Atsimo-Andrefana.

Parmi les activités de cette composante, il est prévu d'accompagner, de former et d'appuyer les artisans à la production et la commercialisation des foyers améliorés dans les zones d'intervention. Nous ne détaillons ici que cette activité liée à la production et la diffusion des foyers améliorés.

Activité foyer amélioré

La GIZ/PAGE/ECO promeut donc la production locale de foyer amélioré en argile en appuyant des artisans à produire des modèles de foyers améliorés à bois et à charbon par

- La formation au processus de production, à la gestion financière de l'unité de production et à la communication (publicité, marketing) ;

⁶⁰<https://www.giz.de/en/worldwide/322.html>

- La fourniture de matériel (four de cuisson, rouleuse, plieuse, etc.) ;
- Un appui à la commercialisation des foyers produits (mise en place de kiosque de commercialisation, mise en réseau des acteurs de la chaîne de valeur, appui marketing, etc.).

L'objectif est que cette chaîne de valeur soit autonome et viable à la fin du projet, c'est-à-dire que tous les acteurs impliqués (production, transport, commercialisation) puissent gagner leur vie dignement grâce à la diffusion des foyers améliorés.

Les bénéficiaires

Les bénéficiaires directs sont les artisans accompagnés par le projet. Les bénéficiaires indirects sont tous les autres acteurs de la chaîne de valeur des foyers améliorés comme les transporteurs, les revendeurs, les utilisateurs finaux (foyers de qualité à un prix abordable).

Les clients sont les utilisateurs de charbon ou de bois pour la cuisson. Ils achètent les foyers dans des points de vente qui collaborent avec les artisans à l'occasion d'événements (Foire, JME, JMEn...) ou auprès de femmes *revendeur ambulant*.

Modèles de foyers améliorés

Les artisans proposent plusieurs modèles de foyers améliorés appelés « Kilengy » dans la région de DIANA, « KIA'S » dans la région BOENY et « Angovo Maharita » dans la région Antsimo-Andrefana. Ils proposent chacun des modèles différents à bois, charbon de bois ou mixte.

Ces foyers améliorés sont principalement fabriqués à partir d'argile rouge, de terre rouge, de terre noire, d'un mélange sable/ciment pour la finition et d'une coque métallique. Ils ont un rendement énergétique qui varie de 25,6 % à 27,5 % et ont une durée de vie estimée de 2 à 3 ans. La conception initiale de ces foyers améliorés remonte à un projet mené par la Banque Mondiale. Ils ont été testés et adaptés en fonction des besoins locaux. Ainsi, ils sont adaptés aux zones d'intervention afin de répondre aux besoins des populations locales ciblées par le Programme et plus particulièrement pour les consommateurs de charbon. Des tests et des améliorations sont régulièrement apportés par les artisans et le Programme.

Le prix de vente est déterminé localement et à chaque point de vente en fonction des coûts des matières premières (entre 20 % et 40 % du prix global) et de production (entre 20 % et 30 % estimé par le Programme), le coût de transport négocié localement (entre 1 % et 3 %) et la marge du producteur (entre 20 % et 35 %) et du revendeur (entre 10 % et 20 %). Le prix de vente varie donc selon les régions et les acteurs de la chaîne. Ainsi, pour les modèles « ménages » ils sont commercialisés entre 7000 Ar (prix le plus bas à Tuléar) à 15 000 Ar (prix le plus élevé à Diégo).

LE FOYER AMELIORE EN ARGILE: réduit la déforestation et préserve la bourse des ménages

<p>KIAS' Boeny</p>  <p>KIAS' Magneva Forme cylindrique trépied Foyer à charbon Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 12 000 AR</p>	<p>KILENGY DIANA</p>  <p>Kilengy Manhaja Forme semi-conique Foyer à charbon Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 12 000 AR</p>	<p>ANGOVO MAHARITRA Atsimo Andrefana</p>  <p>Angovo maharitra CYL Forme cylindrique Foyer à charbon Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 7 000 AR</p>
<p>KIAS'Zity Forme conique Foyer à charbon Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 10 000 AR</p> 	<p>Kilengy Tsimifily Forme conique Foyer à charbon et à bois Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 15 000 AR</p> 	<p>Angovo maharitra CON Forme conique Foyer à charbon Pour les ménages de 4 à 8 personnes Prix: 7 000 AR</p> 
<p>KIAS'Too Foyer à charbon Pour les barbecues Prix: 50 000 AR</p> 	<p>Kilengy Maroanaka Forme cylindrique Foyer à charbon Pour les gros consommateurs (gargottes, etc.) Prix: 20 000 AR</p> 	<p>Angovo maharitra DBL Foyer à charbon à double marmite Pour les ménages et les gargottes Prix: 70 000 AR</p> 

- Réduit la consommation de charbon d'au moins 30%
- 2 à 3 ans de durée de vie au minimum
- Disponible en plusieurs modèles adaptés aux besoins des ménages et gargottiers

Production des foyers améliorés

Historique

Initialement les programmes de diffusion de foyers améliorés faisaient la promotion des foyers métalliques pour ne pas réaliser de changements d'habitudes des consommateurs trop brusques. Aujourd'hui, les artisans locaux maîtrisent la production de ces foyers métalliques et la chaîne de valeur est autonome. Pour le PAGE, il s'agit donc de promouvoir des foyers améliorés plus performants et de créer une autre chaîne de valeur.

Ressources humaines et matériels

Le PAGE a formé 2 artisans à Diégo, 2 artisans à Mahajanga et 4 artisans dans la région de Tuléar. Dans chaque atelier de production, un chef d'atelier dirige et coordonne la production des foyers, un ou deux ouvriers fabriquent les inserts (mélange, modelage, moulage, façonnage, séchage, cuisson) et un ou deux ouvriers confectionnent la coque métallique (découpage, pliage, assemblage, peinture).

L'argile est collectée à la main sur les sites d'extraction par les artisans producteurs tandis que les tôles et autres matières premières (ciment, sable, etc.) sont achetées localement.

Enfin, les artisans bénéficient d'un appui du PAGE dans l'obtention des matériels de production (burins, rouleuse, plieuse, four, etc.). Ces derniers sont mis à la disposition des artisans et seront utilisés uniquement pour la fabrication de foyers améliorés. Une convention qui stipule les détails accompagne toujours cette dotation.

Production

La production est planifiée chaque semaine en fonction des commandes des points de vente dans la limite de la capacité de production de l'atelier (100 foyers par mois).

Les foyers produits peuvent être stockés dans les ateliers en particulier lorsqu'un événement est prévu.



Préparation de l'argile



Préparation de la tôle



Finitions

Mode de diffusion des foyers améliorés

Historique de diffusion

Entre 1994 et 2003, le programme mené par la Banque Mondiale a appuyé des artisans au développement de différentes formes de foyers améliorés métalliques (FAM) en référence au « Fatapera » (foyer métallique traditionnel) pour garder les habitudes culinaires des utilisateurs.

Entre 2004 et 2007, le développement de foyers améliorés en argile a été réalisé à Antananarivo et transporté dans les différentes régions d'intervention du programme.

A partir de 2008, des essais ont été réalisés dans les zones d'intervention pour une introduction et appropriation progressive de la technologie des foyers en argile. Les artisans d'Antananarivo ont alors formé des artisans localement.

Diffusion des foyers améliorés et communication

Depuis 2015, le PAGE s'est approprié la technologie et accompagne désormais ces artisans à la production mais également à la commercialisation (mise en réseau des acteurs de la filière, promotion des foyers, actions marketing, etc.)

Le PAGE accompagne la commercialisation des foyers améliorés via :

- L'identification de points de vente – commerçants ayant pignon sur rue (en bord de route, dans des lieux fréquentés, etc.) ;
- La mise en valeur de ces points de vente (peinture, logo, etc.) ;
- La mise en place d'un circuit de commercialisation (mise en relation directe des producteurs et revendeurs, accompagnement dans la négociation des prix de vente, accompagnement des producteurs pour assurer l'approvisionnement, etc.) ;
- La mise en place de kiosques de vente (choix du terrain, du gestionnaire, mise en valeur, etc.) ;
- Une communication régulière via des spots audio et des vidéos sur les radios et chaînes de télévision locales, la diffusion d'émissions culinaires, l'installation d'affiches et de panneaux publicitaires, etc.
- L'organisation de séances de sensibilisation en partenariat avec les institutions locales ;
- La prospection auprès de « gros consommateurs » (gargotes, restaurants, écoles, etc.)

Modèles économiques

Les coûts de production sont évalués par l'équipe du Programme. Les autres coûts sont négociés au cas par cas pour le transport et les marges de chaque acteur impliqué dans la chaîne de valeur. En dehors des subventions reçus pour la mise en place de la chaîne de production (formation initiale, appui continu et fourniture de matériels) et de la mise en valeur des points de vente, aucune subvention financière n'est fournie par le PAGE. Le prix de vente des foyers améliorés correspond donc aux coûts opérationnels (avec marge) des acteurs impliqués dans la chaîne de valeur et dépend donc des zones de diffusion.

Actuellement, les foyers améliorés sont vendus à crédit par les producteurs aux revendeurs qui commercialisent les foyers comptant auprès des clients finaux. Ainsi, il arrive que les producteurs n'aient pas assez de fond de roulement pour assurer la production en continu. Le PAGE a donc choisi de mettre ces producteurs en relation avec des Institutions de Microfinance (IMF) pour qu'ils puissent produire même lorsqu'ils n'ont pas suffisamment de fonds de roulement.

Suivi des bénéficiaires

Les clients ne reçoivent pas de formation particulière lors de l'achat d'un foyer amélioré. En revanche, lors des séances de démonstration ou de la diffusion des émissions culinaires, une partie est réservée à l'explication du fonctionnement du foyer (pour avoir une pratique économe) ainsi

qu'à la sensibilisation en générale sur l'utilisation du bois-énergie. Par ailleurs, des dépliants et affiches qui décrivent les bonnes pratiques d'utilisation des foyers sont diffusés.

Le PAGE réalise régulièrement des enquêtes panels et des outils marketing ont été développés afin de tester la satisfaction des cibles et de conseiller les artisans dans l'amélioration de la qualité des produits.

Les partenaires

Partenaires opérationnels

La GIZ a mandaté le bureau d'étude ECO Consulting qui fournit des expertises techniques pour des projets de transfert de connaissance et de transformation sociale et politique dans les pays partenaires de la coopération internationale de l'Allemagne⁶¹.

Les artisans collaborent avec des IMF pour faciliter l'accès à des fonds de roulement pour le fonctionnement des unités de production.

Des socio-organismes locaux interviennent ponctuellement pour assurer les sensibilisations et communication dans les zones d'intervention.

Partenaires financiers

La GIZ finance le transfert de compétence, l'apprentissage et l'amélioration des moyens de production et l'appui marketing. Les artisans participent financièrement à la mise en place des unités de production.

Partenaires institutionnels

Le Programme travaille avec les institutions locales pour l'organisation de séances de sensibilisation et de commercialisation dans les communes ainsi qu'avec l'Organisation de la Société Civile pour l'Environnement (OSC-E) pour sensibiliser plus particulièrement les femmes sur les pratiques économes et en faveur de l'environnement.

Dans la région de DIANA, la GIZ travaille en étroite collaboration avec la PREEB (Plateforme Régionale d'Echanges en Energie de Biomasse de la Région de DIANA) impulsée par la Direction du Développement Régional, le secteur privé, la société civile, les collectivités territoriales décentralisées, les services techniques déconcentrés et les partenaires au développement de la région qui souhaite répondre aux problématiques de sécurisation de l'approvisionnement énergétique de la population et de gestion durable des ressources naturelles de la région.

Perspectives

Le PAGE souhaite continuer à former des artisans locaux à la production de leurs modèles de foyers améliorés afin d'assurer la durabilité et la pérennité des filières locales de diffusion de foyers améliorés et d'être en mesure de fournir les populations locales en foyers économes à des prix réels (non subventionnés) et abordables.

Planète Urgence & CIRAD

Présentation et historique des organisations partenaires

Planète Urgence

L'association française de solidarité internationale Planète Urgence, créée en 2000 développe deux programmes :

- Congé Solidaire® - mis en œuvre dans 23 pays avec 230 partenaires locaux, les 370 projets menés avec le soutien de près de 600 volontaires envoyés en mission courte chaque année travaille à l'éducation des enfants, la formation des adultes, la protection de l'environnement, etc.
- Environnement & Développement (ED) – mobilisation de partenaires financiers du Nord en faveur de programmes d'agroforesterie, de valorisation économique du patrimoine naturel des communautés rurales ou d'efficacité énergétique à travers l'utilisation du bois-énergie à Madagascar et en Indonésie.

A Madagascar, la délégation a été mise en place en 2005 et travaille sur près de 40 programmes.

Congé Solidaire à Madagascar

Entre 100 et 120 volontaires sont accueillis chaque année. Ils travaillent notamment dans les domaines de l'appui socio-éducatif et la biodiversité.

ED à Madagascar

Initié en 2008, le programme travaille sur 3 projets :

⁶¹<http://www.eco-consult.com/start.html>

- Protection des forêts de Tapia (restauration du couvert forestier, développement socio-économique autour de la filière soie) ;
- Reboisement de proximité (développement socio-économique autour des filières apiculture et aviculture) ;
- AFIBERIA – efficacité énergétique de la filière bois-énergie en Itasy et Analamanga lancé en mars 2015.

CIRAD

Le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) est un Epic placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. Au travers de recherches principalement axées sur l'innovation et le développement agricole, le CIRAD appui les politiques publiques des pays en développement pour améliorer la sécurité alimentaire, réduire les inégalités et le changement climatique et lutter contre la pauvreté.

A Madagascar, les 25 chercheurs affectés travaillent sur de nombreux domaines dont la valorisation de la biodiversité, la gestion des services environnementaux, la promotion de l'agroécologie, l'efficacité énergétique de la biomasse, etc. Outre ses activités de recherches, le CIRAD met en œuvre plusieurs projets relatifs au développement rural (agriculture, environnement, etc.)

LLD

L'association LLD créée en 2015 regroupe plusieurs consultants experts dans les domaines de la filière bois-énergie (promotion de la chaîne de valeur charbon de bois et foyers améliorés), foresterie, etc.

Présentation et historique du projet

Historique des projets Planète Urgence et CIRAD

En mars 2015, Planète Urgence lance le projet AFIBERIA (Appui à la Filière Bois-Energie en Région Itasy et Analamanga) financé en grande partie par l'Union Européenne qui a pour objectifs de structurer la filière bois-énergie dans ces deux régions (formalisation et structuration de la filière). Les activités prévues sont le reboisement, l'appui à la carbonisation améliorée et la diffusion des foyers améliorés.

En parallèle, le CIRAD lance son projet ARINA⁶², également financé par l'Union Européenne, qui a pour objectif spécifique de « Renforcer durablement les capacités de production en bois-énergie des populations rurales organisées en collectifs dans les domaines de la plantation forestière, de la carbonisation, de l'efficacité énergétique et de la commercialisation des produits. ». Parmi les résultats attendus, 30 000 foyers améliorés doivent être produits par 18 artisans formés et accompagnés par le projet dans la région Analamanga.

Activités foyers améliorés

Dans ce contexte, Planète Urgence et le CIRAD ont fait appel à l'association LLD pour réaliser les activités liées au développement de cette filière foyers améliorés (diminution de l'utilisation du charbon, amélioration de la qualité des foyers améliorés diffusés, restructuration de la filière et professionnalisation des artisans producteurs de foyers améliorés). Dans un premier temps, LLD a réalisé une étude de marché des foyers améliorés dans les régions Analamanga et Itasy.

Par la suite, LLD a travaillé à la mise en place de 18 ateliers de production de foyers améliorés pour répondre aux objectifs des deux projets et produire et commercialiser 70 000 foyers dans les 3 années à venir dans les deux régions ciblées. Les activités principales menées par l'association pour mettre en place ces ateliers de production sont :

- La recherche des sites d'argile ;
- La formation des artisans (technique - production et contrôle qualité ; gestion) ;
- La construction des ateliers (appui matériel et financier) ;
- Conception d'une stratégie marketing et appui à la commercialisation des foyers améliorés produits ;
- Conception et mise en œuvre de systèmes de suivi-évaluation, commercialisation, traçabilité et certification.

⁶²<http://www.asamada.eu/portfolios/projet-arina/>

Modèles de foyers améliorés

Le modèle de foyer amélioré promu dans le cadre de cette initiative est le foyer à charbon 3M (Mitsitsy – Econome, Mateza – Durable, Mora – moins cher) proposé par le CNRIT. Il est fabriqué à partir d'argile, de terre rouge, de sable et de tôle neuve. Il mesure 25 cm de diamètre et pèse entre 8 et 10 kg. Ce dernier a été choisi suite à l'étude de marché et la réalisation de tests de performance sur les modèles de foyers améliorés identifiés. L'économie de charbon de bois allant jusqu'à 29 % (par rapport au foyer traditionnel) pour un rendement maximum de 31 %.



Production des foyers améliorés

Ateliers de production



LLD a mis en place 18 ateliers de production de foyers améliorés dans la région Analamanga. Pour atteindre les objectifs fixés par les projets ARINA et AFIBERIA chaque atelier devra avoir une capacité de production entre 180 et 250 foyers par mois.

Ressources humaines et matériels

Les ateliers ont été dotés de petits outillages (moules, couteaux, marteaux, burins, cisailles, etc.) pour le travail de l'argile et de la tôle.

Dans chaque atelier les artisans sont responsables de

- La préparation de l'argile - prélèvement et transport de l'argile, terre, sable, etc. jusqu'à l'atelier, mélange et malaxage, mise en moule et séchage des inserts) ;
- La cuisson des inserts - prélèvement et transport des combustibles utilisés pour le four, cuisson et suivi du feu, refroidissement et défournement ;
- La préparation de la tôle – découpe, enroulement et fixation des accessoires ;
- L'assemblage et peinture des foyers améliorés finis.

L'approvisionnement en matière première se fait chaque semaine au niveau local (argile, terre rouge et sable) ou auprès de fournisseurs à Antananarivo (tôle, peinture, etc.)

Diffusion des foyers améliorés et communication

Modes de diffusion

Les foyers améliorés sont disponibles pour les clients finaux :

- Dans des points de vente (les foyers sont alors livrés par le producteur) ;
- Dans la centrale d'achat mise en place par le projet ;
- Directement à l'atelier.

Le prix de vente conseillé est de 6 000 Ar.

Sensibilisation et formation

Le projet prévoit d'accompagner la mise en place de la filière par de la communication de masse via la réalisation de campagnes de sensibilisation de masse et de publicités. Les publicités pourront être diffusées via des spots télévisés ou sur les radios, par le collage d'affiche dans les zones d'intervention, etc.

Bien que les clients finaux ne soient pas formés à l'utilisation des foyers améliorés, un guide d'utilisateur leur est fourni à l'achat du foyer.

Modèle économique

Le projet souhaite que les ateliers soient viables et que les prix de vente des foyers améliorés permettent aux producteurs (artisans formés) ainsi qu'aux revendeurs de bénéficier d'une marge et donc d'un revenu décent avec cette activité. LLD a travaillé sur le modèle économique et la structure des coûts de chaque atelier afin de pérenniser la filière sans subvention extérieure et sans intervention du projet sur le long terme.

Ainsi, le prix du foyer commercialisé n'est pas subventionné mais le projet a mis en place un fonds de roulement à disposition des ateliers pour faciliter les approvisionnements et la production.



Suivi des bénéficiaires et foyers améliorés diffusés

Le projet ne prévoit pas de réaliser un suivi systématique des clients finaux. En revanche, il réalise un suivi rapproché des artisans formés. Par ailleurs, les foyers endommagés dans le cadre d'une bonne utilisation sont remplacés durant la durée de garantie de 3 mois.

Les partenaires

Partenaires opérationnels

LLD, mandaté par Planète Urgence et le CIRAD réalise la plus grande partie des activités. Planète Urgence et le CIRAD sont en appuis pour la coordination générale du projet et rémunère LLD.

LLD a travaillé avec le CNRIT pour le choix du modèle de foyer amélioré (test de performance, etc.) et la mise en place de la chaîne de production (étapes de production, etc.)

Partenaires financiers

Planète Urgence et le CIRAD sont subventionnés par l'Union Européenne. LLD est rémunéré par ces deux organisations.

Partenaires institutionnels

LLD collabore avec plusieurs ministères, notamment pour mettre en place un système de normes et de certification des foyers améliorés et des ateliers de production. Par ailleurs, les Communes et les Fokontany des zones d'intervention ont appuyé le projet par la recherche de site d'argile et des terrains pour l'implantation des ateliers, les procédures administratives et la recherche de combustibles pour la cuisson des inserts.

Perspectives

Planète Urgence et le CIRAD ont pour objectif de commercialiser 70 000 foyers améliorés dans les régions Analamanga et Itasy dans les 3 prochaines années. Par ailleurs, les deux organisations souhaitent que les ateliers mis en place soient autonomes et que leurs activités soient pérennes à la suite du projet.

9.1.4 Les formateurs de bénéficiaires

CNRIT

Présentation et historique

Le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) est présenté en partie 8.5.4 de ce rapport.

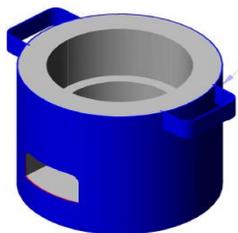
Ayant acquis une réelle expérience dans le domaine des foyers améliorés depuis près de 30 ans, le CNRIT :

1. Accompagne les organisations qui souhaitent déployer un projet de production et/ou diffusion de foyers améliorés. Pour cela, le centre peut former les artisans à la production des foyers, accompagner l'organisation à la mise en place de la chaîne de production des foyers, réaliser de la recherche et développement sur le modèle de foyer proposé pour correspondre aux besoins de la population ciblée, etc. (voir les descriptions des projets menés par Tandavanala, Planète Urgence) ;
2. Forme des bénéficiaires à la fabrication de foyers améliorés brevetés par le CNRIT mais en adéquation avec les matériaux de construction disponibles dans les zones rurales enclavées ;
3. Produit des foyers améliorés en argile avec carapace métallique (modèle breveté par un chercheur du CNRIT) en fonction des commandes dans l'atelier de production du CNRIT basé à Tsimbazaza (siège du CNRIT). En tant qu'EPIC, le CNRIT ne commercialise pas ses foyers améliorés sur le marché.

Foyers améliorés

Le CNRIT diffuse différents modèles de foyers améliorés.

Foyer amélioré à carapace métallique



Le Centre propose un foyer amélioré en argile avec carapace métallique à charbon principalement diffusé par l'intermédiaire de projets menés par des organisations partenaires dans les grandes zones urbaines du pays ainsi qu'un modèle à bois majoritairement diffusé en milieu rural. Les projets menés par Tandavanala (Annexe 9.1.1) et Planète Urgence et le CIRAD (9.1.3) sont des exemples de projets appuyés par le CNRIT.

De son côté, le CNRIT dispose d'un atelier de production à Antananarivo dont la capacité de production peut atteindre 60 foyers améliorés à bois-

énergie par jour ainsi qu'un magasin de stockage de 5 000 foyers. La production n'est pas régulière et dépend des commandes.

L'atelier est composé :

- D'ouvriers en charge de la collecte de l'argile et des matières premières nécessaires à la fabrication du foyer (chambre de combustion et coque métallique) ;
- De techniciens supérieurs spécialisés pour
 - La production de la chambre de combustion (mélange des intrants, battage, malaxage, moulage, séchage sans cuisson.)
 - La fabrication de la carapace métallique (découpe, pliage, montage, etc.).

La chambre de combustion et la carapace métallique sont ensuite assemblées et les foyers stockés pour livraison. Le CNRIT a fait le choix de ne pas cuire les inserts ce qui augmenterait nettement la durée de vie des foyers.

Foyers améliorés à balle de riz



Des foyers améliorés à balle de riz⁶³ diffusés par le biais du projet SEESO (Synergie Energie Environnement dans le Sud-Ouest) financé par l'UE en partenariat avec WWF sont destinés principalement pour le milieu rural dans les zones de forte production de riz. Le CNRIT réalise des transferts de compétences. Ces foyers peuvent être fabriqués à partir de fût ou de tôle de récupération avec des outils archaïques (cisaille, burin, marteau).

Foyers améliorés « Kopa Droa »



Le modèle « kopa-droa » bipied permet d'utiliser des combustibles de substitution comme le charbon à base de savane. Ce modèle est breveté par le CNRIT et diffusé par le biais de projets avec des associations environnementales comme l'ANAE. Les formateurs et techniciens des associations partenaires sont formés à leur fabrication. La construction de ces

foyers nécessite l'utilisation d'argile et d'outils archaïques.

Tous les foyers proposés par le CNRIT ont subi des tests de performance (TEE et TCC) afin d'assurer une réelle économie de bois-énergie par les ménages bénéficiaires.

Perspectives

Actuellement, le CNRIT effectue des recherches sur l'amélioration du rendement des foyers améliorés en travaillant notamment sur les matériaux adéquats pour l'isolation.

Par ailleurs, les équipes travaillent sur les foyers à éthanol et notamment sur les matériaux adéquats pour l'isolation de ces derniers. Un prototype a été réalisé et est actuellement testé en milieu réel.

⁶³<https://www.youtube.com/watch?v=05EPvFNN2ts>

9.2 Etude d'impacts de l'utilisation d'un foyer amélioré

9.2.1 Hypothèses de l'étude d'impacts

On utilise ici les mêmes hypothèses que celles formulées dans le cadre de l'étude d'impacts de l'utilisation d'un biodigesteur Annexe 8.7.1.

On considère dans cette étude que l'utilisation d'un foyer amélioré permet de réduire la consommation de charbon de 20 % et la consommation de bois de 35 %.

9.2.2 Impacts économiques

Les bénéfices économiques au niveau des ménages sont générés via :

- La réduction des dépenses liées à l'achat de combustible (bois ou charbon) ;
- La réduction du temps passé à la collecte du bois et à la cuisson valorisable en Activités Génératrices de Revenus (AGR) ;

Réduction des dépenses en combustible

Dans le cas du ménage moyen considéré ici, seul 4,4 % du bois est acheté à 200 Ar le kilo en moyenne et 162 g de charbon à 400 Ar le kilo, il économiserait un peu plus de **13 000 Ar** par an.

Cette estimation doit être faite au cas par cas. En effet, si l'on effectue le même calcul pour un ménage qui n'utilise par exemple que du charbon, ce dernier économiserait près de 100 000 Ar par an.

Réduction du temps valorisable en AGR

Réduction des dépenses en combustible		
Bois consommé par jour	7,644	kg par jour
% réduction de consommation de bois	35%	%
Bois non consommé	2,68	kg par jour
Charbon consommé par jour	0,162	kg par jour
% réduction consommation de charbon	20%	%
Charbon de bois non consommé	0,032	kg par jour
Prix du bois par kilo	200	Ar par kg
Taux de bois collecté	95,6%	%
Prix du charbon par kilo	400	Ar par kg
Dépense quotidienne en bois évitée	23,5	Ar par jour
Dépense quotidienne en charbon évitée	13,0	Ar par jour
Dépense quotidienne en combustible évitée	36,5	Ar par jour
Dépense annuelle en combustible évitée	13 324	Ar par an

Réduction du temps de collecte du bois

Le ménage économise 35 % du bois qu'il consomme, ainsi on suppose qu'il réduirait de 25 % son temps alloué à la collecte du bois (les distances à parcourir sont toujours les mêmes, seul le temps de collecte effective est réduit). De ce fait, le ménage moyen gagnerait près de 13 minutes par jour

soit l'équivalent de près de 10 jours de travail par an. Il pourrait gagner **30 000 Ar** de plus par an en réduisant le temps de collecte du bois et en valorisant ce temps en AGR.

Réduction du temps de cuisson

Les foyers améliorés permettent de réduire le temps de cuisson (essentiellement grâce à la réduction du temps d'ébullition de l'eau) mais ce gain de temps n'a pas la même proportion que pour la réduction de la consommation de bois. Selon des tests réalisés par Etc Terra, il est estimé à 20 minutes par cuisson. Le ménage moyen gagnerait donc approximativement 365 heures par an soit l'équivalent de **136 000 Ar** par an en valorisant ce temps en AGR.

Temps de cuisson	
Temps gagné par cuisson	20 min
Temps gagné par jour	60 min
Temps gagné par an	365 heure
Jour (8h) gagné par an	45,625 jour
Gain économique par an	136 875 Ar

Réduction du temps en arrêt maladie

Selon une estimation fournie par l'OMS, un ménage qui utilise un foyer amélioré à bois au lieu d'un foyer traditionnel gagnerait 3 % par an grâce à une productivité plus grande sur toute sa durée de

vie (moins d'arrêt maladie et durée de vie plus longue). Ainsi, le ménage moyen pourrait gagner 18 000 Ar de plus par an en valorisant ce temps en AGR.

Conclusion

L'utilisation d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel pour un ménage rural malgache moyen lui permettrait ainsi d'obtenir un gain économique total d'environ **185 000 Ar par an** soit près de **15 400 Ar par mois**.

9.2.3 Impacts environnementaux

L'utilisation d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel permet de réduire la consommation de bois-énergie et donc la déforestation et les émissions de GES.

Les hypothèses utilisées sont celle présentées en Annexe 8.7.1 et 9.2.1.

Réduction des émissions de GES

Ménage moyen

En considérant les hypothèses de consommation quotidienne d'un ménage moyen, les réductions de consommation de bois et de charbon par l'utilisation d'un foyer amélioré à bois et à charbon ainsi que le rendement de carbonisation de 15 % (rendement moyen relevé sur les meules de carbonisation à Madagascar) proposées dans cette étude, l'équivalent en quantité de bois non consommée par un ménage moyen grâce à l'utilisation d'un foyer amélioré serait de 2,629 kg par jour de bois sec par jour soit 1,207 tonnes de bois sec non renouvelables par an.

Réduction GES		
Consommation de bois H10% / j	7,644	kg/jour
Efficacité, % réduction consommation de bois	35%	%
Conso charbon / j	0,162	kg/jour
Efficacité, % réduction consommation de charbon	20%	%
Conso bois H10% évitée par jour	2,675	kg/jour
Conso bois sec évitée par jour	2,432	kg/jour
Conso charbon évitée par jour	0,032	kg/jour
Conso charbon - equivalent bois H10%	0,216	kg bois/j
Conso équivalent bois sec	0,196	kg bois/j
Conso bois sec / jour	2,629	kg bois/j
Conso de bois sec annuelle évitée	0,959	t par an
Quantité moyenne de bois sec non renouvelable consommé	0,691	t par an
Emission	1,207	t CO2 par an

En considérant le pouvoir calorifique du bois de 15,6 TJ/Gg et la quantité de CO2 émise par le bois par TJ, on obtiendrait alors une réduction des émissions de GES de **1,207 t CO2e** par an par ménage rural moyen utilisant un foyer amélioré à bois et à charbon.

Ménage utilisant uniquement du charbon

Un ménage qui consommerait 3,4 kg de charbon par jour, réduirait sa consommation de charbon de près de 680 g de charbon par jour soit l'équivalent de 0,854 t de bois sec par an (avec un rendement de carbonisation de 15 %). Ainsi, il réduirait ses émissions de GES de 1,49 tCO2e par an avec l'utilisation d'un foyer amélioré à charbon au lieu d'un foyer traditionnel.

Réduction GES		
Conso charbon / j	3,400	kg/jour
Efficacité, % réduction consommation de charbon	20%	%
Conso charbon évitée par jour	0,680	kg/jour
Conso charbon - equivalent bois H10%	4,533	kg bois/j
Conso équivalent bois sec	3,251	kg bois/j
Conso équivalent bois sec par an	1,187	t par an
Quantité moyenne de bois sec non renouvelable	0,854	t par an
Emission	1,493	t CO2 par an

Ménage utilisant uniquement du bois

Un ménage qui consommerait 8,4 kg de bois par jour, réduirait sa consommation de bois de près de 2,94 kg de bois par jour soit l'équivalent de 0,394 t de bois sec non renouvelable par an. Ainsi, il réduirait ses émissions de GES de 0,69 tCO2e par an avec l'utilisation d'un foyer amélioré à bois au lieu d'un foyer traditionnel.

Réduction GES - foyer amélioré à bois		
Consommation de bois H10% / j	8,400	kg/jour
Efficacité, % réduction consommation de bois	35%	%
Conso bois H10% évitée par jour	2,940	kg/jour
Conso bois sec évitée par jour	1,500	kg/jour
Conso de bois sec annuelle évitée	0,548	t par an
Quantité moyenne de bois sec non renouvelable consommé	0,394	t par an
Emission	0,689	t CO2 par an

Réduction de la déforestation

Ménage moyen

Comme calculé dans la partie précédente, un ménage rural moyen réduirait sa consommation de 0,691 t de bois sec non renouvelable par an. Par ailleurs, les forêts étant très diverses à Madagascar, on relève des densités de poids de bois par surface variant de 5 à 20 kg/m² (respectivement pour les forêts épineuses et forêts humides). Ainsi, la déforestation évitée par ménage grâce à la substitution du foyer traditionnel par un foyer amélioré est **de 69 m²** pour les forêts humides **à 276 m²** pour les forêts épineuses par an.

Réduction de la déforestation - ménage moyen		
Consommation de bois sec annuelle non renouvelée	0,691	t bois par an
% humidité bois vert	100%	%
Equivalent bois vert	1,382	t bois vert par an
Densité forêt épineuse kg/m ²	5	kg bois / m ²
Densité forêt humide kg/m ²	20	kg bois / m ²
Densité forêt épineuse t/ha	0,005	t bois / m ²
Densité forêt humide t/ha	0,02	t bois / m ²
Surface évitée forêt humide par ménage	69,08	m ²
Surface évitée forêt épineuse par ménage	276,31	m ²

On estime aujourd'hui que près de 5 % des ménages utilisent des foyers améliorés. En considérant l'objectif fixé par la NPE que 70 % des ménages cuisinent à l'aide d'un foyer amélioré au lieu d'un foyer traditionnel (soit environ 2,7 millions nouvelles familles), la déforestation annuelle pourrait alors être réduite **de 18 700 ha** pour les forêts humides **à 74 800 ha** pour les forêts épineuses par an.

Inversement, il faudrait que 91 ménages utilisent un foyer amélioré pour réduire la déforestation d'un hectare de forêt humide et 360 ménages pour un hectare de forêt épineuse.

Ménage utilisant uniquement du charbon

En appliquant la même méthode et les hypothèses établies à la partie précédente, un ménage qui ne consomme que du charbon éviterait la déforestation de 85 m² de forêt humide ou 341 m² de forêt épineuse par an.

Inversement, il faudrait que 37 ménages utilisent un foyer amélioré à charbon pour réduire la déforestation d'un hectare de forêt humide et 150 ménages pour un hectare de forêt épineuse.

Réduction de la déforestation -charbon		
Consommation de bois sec annuelle non renouvelée	0,854	t bois par an
% humidité bois vert	100%	%
Equivalent bois vert	1,709	t bois vert par an
Densité forêt épineuse kg/m ²	5	kg bois / m ²
Densité forêt humide kg/m ²	20	kg bois / m ²
Densité forêt épineuse t/ha	0,005	t bois / m ²
Densité forêt humide t/ha	0,02	t bois / m ²
Surface évitée forêt humide par ménage	85,44	m ²
Surface évitée forêt épineuse par ménage	341,78	m ²

forêt

Ménage utilisant uniquement du bois

En appliquant la même méthode et les hypothèses établies à la partie précédente, un ménage qui ne consomme que du bois éviterait la déforestation de 39 m² de forêt humide ou 157 m² de forêt épineuse par an.

Inversement, il faudrait que 160 ménages utilisent un foyer amélioré à charbon pour réduire la déforestation d'un hectare de forêt humide et 640 ménages pour un hectare de forêt épineuse.

Réduction de la déforestation - bois		
Consommation de bois sec annuelle non renouvelée	0,394	t bois par an
% humidité bois vert	100%	%
Equivalent bois vert	0,789	t bois vert par an
Densité forêt épineuse kg/m ²	5	kg bois / m ²
Densité forêt humide kg/m ²	20	kg bois / m ²
Densité forêt épineuse t/ha	0,005	t bois / m ²
Densité forêt humide t/ha	0,02	t bois / m ²
Surface évitée forêt humide par ménage	39,43	m ²
Surface évitée forêt épineuse par ménage	157,73	m ²

d'un

9.3 Méthodologie des tests de performance des foyers améliorés

9.3.1 TEE – Test de l'Ebullition de l'Eau

Introduction

Le Test d'Ebullition de l'Eau (TEE) est une simulation simplifiée du processus de cuisson. Il vise à mesurer l'efficacité avec laquelle un foyer utilise du combustible pour chauffer de l'eau dans une marmite et mesurer la quantité des émissions produites pendant la cuisson. Il est à réaliser dans un environnement fermé et dans des conditions climatiques idéales (laboratoire). Les résultats ne reflètent donc pas ceux que l'on obtiendrait en condition d'utilisation réelle. Il permet de comparer les aspects techniques entre plusieurs modèles et est utile en pré-évaluation des performances terrain.

Conditions de réalisation

Le TEE doit être réalisé dans des conditions les plus similaires possibles d'un test à l'autre. Les conditions climatiques (vent, température, humidité de l'air, etc.) ou le bois (taille, taux d'humidité, etc.) doivent être le plus similaires possibles. La marmite doit être la même (taille, couvercle, etc.), l'opérateur / testeur est idéalement le même.

Le TEE doit être réalisé 3 fois pour chaque foyer testé afin de s'assurer des mesures réalisées. Chaque TEE prend entre 1.5 à 3h.

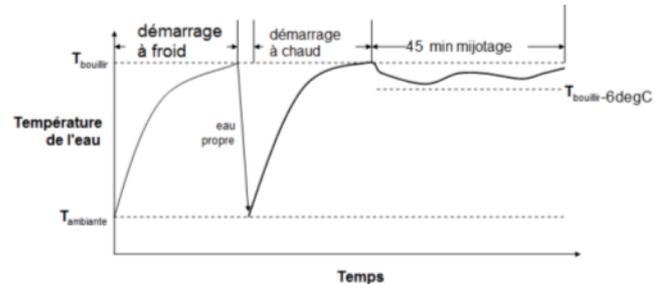
Les phases du TEE

Le TEE se compose de 3 phases qui doivent se suivre immédiatement l'une après l'autre comme représenté dans le graphique ci-contre.

1. **Le démarrage à froid** : le testeur commence avec le foyer à température ambiante et doit mesurer le temps mis par le foyer pour faire bouillir une quantité d'eau mesurée avec un lot de bois pré-pesé dans une marmite standard.

2. **Le démarrage à chaud** : une fois que l'eau précédente boue, le testeur doit à nouveau réaliser le même test (faire bouillir une quantité mesurée d'eau à température ambiante avec un lot de bois pré-pesé dans une marmite standard) mais avec un foyer déjà chaud.

3. **La phase de mijotage** : le testeur doit relever la quantité de combustible nécessaire pour faire mijoter une quantité mesurée d'eau à une température tout juste inférieure au point d'ébullition pendant 45 minutes.



9.3.2 TCC – Test de Cuisine Contrôlée

Introduction

Le TCC est un test réalisé sur la préparation d'un plat traditionnel de la région dans laquelle le projet se déploie. Il s'agit alors d'établir le combustible consommé et le temps pour cuire le repas sur chacun des foyers testés. De même que pour le TEE, les conditions de réalisation du test doivent être idéales (en laboratoire) et similaires d'un test à l'autre. 3 TCC doivent être réalisés pour chaque modèle de foyer testé.

Fiabilité du test

Comme pour le TEE, le TCC doit être réalisé dans des conditions les plus similaires possibles d'un test à l'autre. Par ailleurs s'agissant de la préparation d'un plat, l'opérateur doit s'assurer que la quantité des aliments utilisée pour la préparation, les pratiques culinaires (durée des phases – feu doux, feu vif, etc.), la quantité d'eau ajoutée pendant la cuisson, etc. soient les mêmes d'un test à l'autre. Une recette très précise doit donc être établie au préalable.

Réalisation du test

Pour réaliser le test, il est donc recommandé qu'un testeur (cuisinier) réalise le plat pendant qu'un observateur note au fur et à mesure les informations à relever.

La préparation de ce test est très importante puisqu'il faut s'assurer que la quantité de bois soit suffisante (prévoir 2 fois plus), que la quantité d'ingrédient soit exactement la même, que les pratiques culinaires soient identiques, etc.

9.3.3 KPT – Test de Performance à la Cuisine ou TPC (Kitchen Performance Test)

Introduction

Ce test sert à comparer la consommation de combustible dans des conditions normales d'utilisation avec deux foyers différents. Contrairement aux deux méthodes présentées précédemment ces derniers sont réalisés par les ménages eux-mêmes et dans les conditions réelles de cuisine.

Deux méthodes de mesure sont possibles.

- ***Paired-sample study*** : effectuer des mesures de consommation quotidiennes chez une (ou plusieurs) famille qui utilise un foyer traditionnel sur plusieurs jours puis effectuer ces mêmes mesures sur la même période de temps chez la même famille mais cette fois avec un foyer amélioré ;
- ***Cross sectional study*** : effectuer simultanément des mesures chez deux groupes de familles qui utilisent l'un les foyers traditionnels et l'autre les foyers améliorés.

Les mesures à réaliser sont les mêmes, seule l'approche globale varie. Le choix de la méthode dépend du contexte du projet. Ici, on expliquera la méthode *paired-sample study*.

Saisonnalité

Les mesures doivent être réalisées à la même période pour des problèmes de saisonnalité (la quantité de bois utilisée peut dépendre de la température extérieure, de l'humidité, des habitudes culinaires selon les saisons, etc.).

Durée des mesures

Pour limiter les erreurs d'extrapolation, les mesures de consommation de bois seront réalisées sur plusieurs jours pour chaque ménage. Cela permet d'avoir un panel de repas et d'effectuer une moyenne de consommation. Pour limiter ces erreurs de calcul, Il est conseillé de mesurer la consommation sur une semaine (21 repas) ou au minimum 3 jours (hors weekend, jour de marché, vacances ou évènement particulier qui sont des jours où la consommation varie fortement).

Enquêtes qualitatives préalable et de suivi

Des enquêtes préalables auprès des ménages de la région ciblée doivent être menées pour connaître les habitudes de consommation, mesurer l'intérêt pour le foyer amélioré, etc. Elle permet également de tester la motivation des ménages à participer au test.

Une fois le foyer amélioré diffusé, une deuxième vague d'enquête devra être réalisée de préférence auprès des ménages déjà enquêtés et qui utilisent désormais un foyer amélioré depuis au moins un mois. Elle aura pour objectif de mesurer les forces et faiblesses du foyer pour les ménages ainsi que les éventuels changements économiques ou sociaux. L'enquête de ménages qui n'ont pas choisi d'utiliser le foyer amélioré permettra de pour comprendre les barrières d'utilisation.

Mesure de la quantité de bois utilisée avec le foyer traditionnel (amont)

Le premier jour du test sera consacré à la formation du ménage au processus du test ainsi qu'à la préparation de ce dernier.

Formation du ménage

Il s'agira de lui expliquer la démarche globale du test et d'arranger le rendez-vous quotidien pour les mesures de bois. Il faudra bien leur expliquer de cuisiner le plus possible comme à leur habitude.

Collecte de bois

Le ménage devra collecter une quantité de bois suffisante pour au moins deux fois le temps de mesure prévue afin de ne pas être en rupture de stock pendant la période de test.

Mesure de la quantité de bois initiale et du taux d'humidité

Le bois collecté devra être précisément pesé avec des outils de mesure adapté. Une mesure du taux d'humidité de ce bois devra être réalisée avec un humidimètre.

Un endroit précis devra être prévu afin de stocker le bois utilisé pour le test. Ce bois ne devra servir qu'à la cuisson des repas et aucun autre bois ne devra être utilisé.

Mesure quotidienne de la consommation du bois

Une visite quotidienne, à la même heure, devra être réalisée afin de relever les points suivants :

- Nombre de personnes qui ont pris un repas (relever l'âge, le sexe de chaque personne) ;
- Peser la quantité de bois restante ;
- Mesurer le taux d'humidité du bois.

Mesure de la quantité de bois utilisée avec le foyer amélioré (aval)

La même démarche, dans les mêmes conditions (climatiques, nombre de jours, jours de la semaine, etc.) devra être réalisée auprès des ménages qui possèdent un foyer amélioré. Ainsi, les

mesures une fois intégrées dans l'outil de traitement de la méthode permettront d'évaluer les réductions des émissions de GES grâce à l'utilisation du foyer amélioré.

9.4 Tableaux récapitulatifs – facteurs clés de succès

		Facteurs	- / -- / + / ++	Commentaires
Facteurs techniques	Potentiel technique macro	Disponibilité des matériaux et matériels	+	Les matériaux de fabrication des foyers sont disponibles presque partout à Madagascar. Attention au coût d'achat des tôles métalliques qui peut être important. Les outils de production peuvent être artisanaux et de fabrication locale. Les machines plus sophistiquées doivent être importées.
		Caractéristiques techniques	+	Les modèles de foyers améliorés proposés par les initiatives identifiées sont globalement robustes et performants. Ils permettent de réduire la consommation de bois et ont une durée de vie raisonnable. Des améliorations pourraient encore être apportées.
		Technicité de production	+	La technicité de production des foyers améliorés n'est pas très élevée et permet un transfert de compétences relativement aisé à une main d'œuvre même peu qualifiée. Un foyer de qualité peut être obtenu avec des procédés de fabrication simples. Ces derniers sont globalement maîtrisés par les projets menés. Des améliorations pourraient encore être apportées.
		Coûts de production	--	Les coûts de production des foyers améliorés sont encore majoritairement trop élevés pour être commercialisés au prix réel. Des efforts importants doivent être menés par les initiatives identifiées.
		Robustesse des infrastructures (enclavement)	--	De nombreux villages sont enclavés, difficiles d'accès toute l'année ou durant la saison des pluies. Difficile d'assurer la livraison régulière de ces villages en foyers améliorés.
	Opérateurs	Aptitudes techniques et expériences	+	La plupart des initiatives identifiées ont développés des foyers améliorés robustes et adaptés. Plusieurs ateliers de production sont fonctionnels et disposent de capacité de production non négligeable. Des réseaux de revente plus ou moins performants sont mis en place. Attention aux coûts de production, durabilité de la filière.
		Moyens financiers et humains	-	Les initiatives ont des moyens humains et financiers relativement réduits qui ne permettent pas de répondre aux besoins du marché et donc un déploiement à plus large échelle. Les moyens sont mêmes très insuffisants si l'on se base sur l'objectif de 70 % fixé par la NPE.

Facteurs		- / -- / + / ++	Commentaires	
Facteurs économiques	Potentiels macro-économiques	Besoins et demandes	-	Bien que le besoin soit réel, la demande reste faible à cause de la méconnaissance de la technologie et de ses bénéfices, du prix de vente et de la mauvaise image due à la qualité médiocre des foyers améliorés artisanaux. Des activités de sensibilisation pourraient amener une augmentation très rapide de la demande (compte tenu des besoins).
		Solutions de financement	--	Les investissements privés sont quasi inexistantes. Le gouvernement n'a pas mis en place de facilité de paiement ou mécanismes de régulation. La plus grande partie des projets sont financés par des bailleurs de fonds internationaux ou des dons privés ce qui fausse le marché.
	Potentiels micro-économiques	Apports financiers	-	Le pouvoir d'achat des ménages malagasy reste très faible. La dépense à réaliser pour l'achat d'un foyer amélioré est importante et nécessite pour la plupart l'accès à une facilité de paiement (crédit).
		Gains économiques	+	Les dépenses en combustible (charbon) et le temps passé à la collecte du bois sont souvent élevés à Madagascar. Ainsi, en valorisant le temps gagné en AGR, les temps de retour sur investissement seront relativement courts.

Facteurs		- / -- / + / ++	Commentaires	
Facteurs sociaux	Amélioration des conditions de vie	Précarité énergétique	++	Les ménages ruraux sont en grande précarité énergétique. Plus de 98% utilisent le bois-énergie pour la cuisson dont plus de 95% en foyer traditionnel ouvert, moins de 5% ont accès à l'électricité, etc.
		Problèmes sanitaires	++	Les problèmes sanitaires liés à l'utilisation du bois-énergie en foyer ouvert sont réels et causent plus de 12 000 décès par an.
	Appropriation de la technologie	Changements d'habitudes	-	Les changements de pratiques sont difficiles. Les habitudes, notamment culinaires, sont très ancrées.
		Niveau d'éducation	-	Le niveau d'éducation des ménages ruraux est encore faible et ne permet pas toujours aux membres décisionnaires de la famille de comprendre tous les bénéfices de l'utilisation d'un foyer amélioré. L'implication des femmes est essentielle.

Facteurs		- / -- / + / ++	Commentaires
Facteurs environnementaux	Déforestation, Erosion, GES, etc.	++	Madagascar connaît un taux de déforestation très critique et qui ne cesse d'augmenter. Les impacts environnementaux sont très importants. L'érosion des sols provoque des réductions des rendements. La biodiversité est menacée. Les émissions de GES augmentent.

Facteurs		- / -- / + / ++	Commentaires
Facteurs institutionnels	Stabilité politique	-	Le pays connaît depuis plusieurs années une instabilité politique forte. Chaque crise politique a des effets très néfastes sur le déroulement des projets.
	Politique environnementale et énergétique	-	La Nouvelle Politique Environnementale publiée par le gouvernement en 2015 a des objectifs ambitieux de développement des énergies renouvelables et déploiement des foyers améliorés. Cependant, les moyens mis en œuvre restent très faibles et ne permettent pas leur réalisation concrète. Bien que des travaux soient en cours, aucun mécanisme de régulation ou réglementation ne favorise à ce jour le développement de la technologie foyers améliorés.
	Implication des institutions publiques	+	Il y a une prise de conscience au niveau national. Aux niveaux régional et local, les institutions sont généralement motivées et impliquées dans le déploiement des projets foyers améliorés.
	Filière foyers améliorés	-	Filière non structurée. Pas de réglementation adaptée au secteur.

10 Bibliographie

1. **INSTAT**. *Enquête Nationale sur le Suivi des OMD à Madagascar - Préserver l'environnement*. 2013.
2. **Mondiale, Banque**. Données de Madagascar. [En ligne] <https://donnees.banquemondiale.org/pays/madagascar>.
3. **WWF**. *Diagnostic du Secteur de l'Energie à Madagascar*. 2012.
4. **euei, Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures I**. *Assistance pour le Développement d'une Nouvelle Politique de l'Energie à Madagascar – Phases 2 et 3*. 2015.
5. **Monde, Fondation Energies pour le**. *De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar*.
6. **Hydrocarbures, Ministère de l'Energie et des**. *Assistance Technique pour l'Elaboration de la Stratégie Nationale Bois-Energie*. 2015.
7. **RCPE/EUEI**. *Rapport pour le développement d'une nouvelle politique de l'énergie à Madagascar*. 2014.
8. **Consults, Banjara Hills**. *Les possibilités de l'utilisation du biogaz à Madagascar*. 2008.
9. **Hydrocarbures, Ministère de l'Energie et des**. *Lettre de politique de l'énergie de Madagascar 2015-2030*. 2015.
10. **P. Girard, FAO**. Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique ? [En ligne] <http://www.fao.org/docrep/005/y4450f/y4450f10.htm>.
11. **FAO/PAM**. *Mission d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar*. 2014.
12. **XChange-Madagascar**. Production Agricole - les facteurs. [En ligne] <http://www.xchange-madagascar.com/actualites/index.php/production-agricole-tout-depend-de-plusieurs-facteurs/>.
13. **RALAI FENOMANANA, François Régis**. *Analyse de la situation nationale des technologies agricoles et de la dissémination à Madagascar*. Mai 2009.
14. **Mondiale, Banque**. *L'éthanol comme combustible domestique à Madagascar*. 2011.
15. **Institute, Oakland**. Impacts Négatifs d'un Projet Agro-Industriel. *Oakland Institute*. [En ligne] 2014. <https://www.oaklandinstitute.org/impacts-n%C3%A9gatifs-d%E2%80%99un-projet-agro-industriel-%C3%A0-gninth-une-ong-br%C3%BBle-sen-huile-sen-ethanol>.
16. **Energypedia**. All biogas Articles. *energypedia.info*. [En ligne] <https://energypedia.info/wiki/Category:Biogas>.
17. —. Biogas Documents. *energypedia.info*. [En ligne] https://energypedia.info/wiki/Biogas_Library_Document_List.
18. **REN21**. Global Status Report. [En ligne] <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>.
19. **SNV**. Biogas by SNV. [En ligne] <http://www.snv.org/sector/energy/topic/biogas>.
20. **EurObserv'ER**. *Biogas Barometer*. 2014.
21. **Association, European Biogas**. [En ligne] <http://european-biogas.eu/>.
22. **Europe, Biogaz**. [En ligne] <http://www.biogaz-europe.com/>.
23. **Farm, BioEnergy**. [En ligne] <http://www.bioenergyfarm.eu/fr/resume/>.
24. **Initiative, Biogas for Better Life: An African**. *Domestic Biogas in Africa ; a first assessment of the potential and need*. 2007.
25. **SNV**. ABPP - Africa Biogas Partnership Programme. [En ligne] <http://www.snv.org/project/africa-biogas-partnership-programme-abpp>.
26. **ABPP**. Africa Biogas and Clean Cooking Conference. [En ligne] <http://www.africabiogas.org/blog/abpp-success/africa-biogas-and-clean-cooking-conference-april-5-7-2016-addis-ababa-ethiopia/>.
27. **Tanzania, Biogas**. Tanzania Domestic Biogas Programme (TDBP). [En ligne] <http://www.biogas-tanzania.org/>.
28. **Commission, Ministry of Power and RETT/Energy**. *Biogas Technology – What works for Ghana*. 2016.
29. **GIZ**. *Biogas in Ghana Sub-Sector Analysis of Potential and Framework Conditions*. 2014.
30. **eawag**. *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. 2014.
31. **GIZ, ISAT**. *Biogas Digest Volume I - Biogas Basics*. 1995.
32. **AGRINOVA**. *Valorisation agronomique des digestat de méthanisation*. 2013.
33. **Bioenergy, IEA**. *Nutrient Recovery by Biogas Digestate processing*. 2015.
34. **HIVOS**. *Bioslurry: a supreme fertiliser, A study on bioslurry results and uses*. 2014.

35. **biogaz-energie-renouvelable.info**. Cogénération du biogaz. *Biogaz Energie Renouvelable*. [En ligne] http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/biogaz_cogeneration.html .
36. **ISAT, GIZ**. *Biogas Digest Volume II - Application and Product Development*. 1995.
37. **Energypedia**. Types of Biogas Digesters and Plants. [En ligne] https://energypedia.info/wiki/Types_of_Biogas_Digesters_and_Plants.
38. **WWF**. *Première phase de l'étude stratégique du développement du secteur agro-carburant à Madagascar*. 2011.
39. **GTZ, ISAT &**. *Biogas Digest Volume I & II*. 1995.
40. **ASER, SNV &**. *Report on the feasibility study on a national programme for domestic biogas in Senegal*. 2007.
41. **International, Winrock**. *A cost-benefit analysis of national and regional integrated biogas and sanitation programs in Sub-Saharan Africa*. 2007.
42. **ADEME**. *Qualité agronomique et sanitaire des digestats*. 2011.
43. **Bioenergy, IEA**. *Quality Management of Digestate from biogas plants used as fertilizer*. 2012.
44. **AGRINOVA**. *Valorisation agronomique des digestat de méthanisation - Recherche documentaire*. 2013.
45. **INSTAT**. *ENSOMD - Eliminer l'extrême pauvreté et la faim*. 2012.
46. **HERA, GIZ**. Improved Cookstoves and Energy Saving Cooking Equipment. *Energypedia*. [En ligne] https://energypedia.info/wiki/Improved_Cookstoves_and_Energy_Saving_Cooking_Equipment.
47. **GIZ**. *Stoves Through the Ages, Stoves Images, A Documentation of Improved and Traditional Stoves in African Asia and Latin America*. 1995.
48. **Thivillon, Thomas**. *L'expérience du Recho Mirak : retour sur trois décennies de promotion des foyers améliorés en Haïti*. 2014.
49. **HERA, GIZ**. Firewood Cookstoves. *Energypedia*. [En ligne] https://energypedia.info/wiki/Firewood_Cookstoves.
50. **GIZ**. *L'énergie de cuisson, Ce qui compte réellement pour réduire la pauvreté de moitié d'ici à 2015*.
51. **OMS**. *Energie domestique et santé, des combustibles pour vivre mieux*. 2007.
52. **(GACC), Global Alliance for Clean Cookstoves**. *Igniting Change, A strategy for Universal Adoption of Clean Cookstoves and Fuels*. 2011.
53. **Organization, World Health**. *Fuel for Life: Household Energy and Health*. 2006.
54. **GIZ**. *Clean and Efficient Cooking Energy for 100 million homes*. 2013.
55. **(IEA), International Energy Agency**. *World Energy Outlook 2011*. 2011.
56. **Global Alliance for Clean Cookstoves**. *Results Report 2014*. 2014.
57. **(SE4All), Sustainable Energy for All**. *Global Tracking Framework - Progress toward Sustainable Energy*. 2017.
58. **Group, World Bank**. *Wood-Based Biomass Energy Development for Sub-Saharan Africa, Issues and Approaches, Africa Renewable Energy Access Program (AFREA)*. 2011.
59. **GIZ**. *Le bois-énergie – la future énergie verte de l'Afrique*. [En ligne] 2010. https://www.youtube.com/watch?v=P7ZN42N_zIU.
60. **HERA, GIZ**. Charcoal Cookstoves. *Energypedia*. [En ligne] https://energypedia.info/wiki/Charcoal_Cookstoves.
61. **International, Solar Cookers**. Rocket Stove. *The Solar Cooking Wiki*. [En ligne] Décembre 2015. http://solarcooking.wikia.com/wiki/Rocket_Stove.
62. **Mali, SNV**. Foyers à balles de riz . [En ligne] <https://www.youtube.com/watch?v=05EPvFNN2ts>.
63. **OMS**. *Evaluation of the costs and benefits of household energy and health interventions at global and regional levels*. 2008.
64. **GIZ, GERES &**. *Building Business Cases to Reach Scale: A study on Biomass Cookstove Business Models in Asia and Africa*. 2014.
65. **GIZ**. *Sustainability Assessment of Improved Household Cookstove Dissemination*. 2014.
66. **Bank, World**. *What Makes People Cook with Improved Biomass Stoves? A Comparative International Review of Stoves Programs*. 1994.
67. **(LLD), Leadership for Local Development**. *Etude de marché et analyses techniques de la filière des foyers améliorés dans les zones d'intervention des Projets ARINA et AFIBERIA*. 2016.
68. **PREB**. *Plan Régional en Energie de Biomasse 2016-2020, Région DIANA*. 2016.
69. **ONN, INSTAT -**. *Enquêtes Nationale sur le Suivi des Objectifs du Millénaire pour le Développement (ENSOMD) à Madagascar*. 2013.

70. **Consulting, ENEA.** *Domestic Biogas development in development countries.* 2013.

71. **GIZ.** *Efficient cookstoves & cooking energy for a healthier living, Frequently asked questions around cookstoves and fuels.*

72. **International, GVEP.** *Cookstoves and Markets: Experiences, Successes and Opportunities.* 2009.

Association Etc Terra Madagascar
Lot VE 26 L Ambanidia, 101 Antananarivo
Maud Ferrer
Tél : +261 (0)34 38 506 31

Etc Terra – Rongead (Nitidae)
127 rue d'Avron
75020 Paris | France
Tél : +33 (0)9 83 22 76 22
Fax : +33 (0)9 81 38 29 85
www.etcterra.org

Matthieu Tiberghien
Mobile : +33 (0)6 81 88 75 11
m.tiberghien@etcterra.org

Etc Terra
 **RONGEAD**