



COMMISSION DE
L'Océan Indien



Etude du potentiel de valorisation énergétique de la biomasse ligneuse dans les Etats membres de la Commission de l'océan Indien



Cette publication a été produite par la Commission de l’océan Indien à travers le programme ENERGIES financé par l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions de la COI.



Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Avant-propos

Ce travail a été réalisé par le CIRAD et le cabinet AIDES dans le cadre du programme ENERGIES financé par l'Union européenne, dans le cadre du 10^{ème} FED (Fonds Européens de Développement).

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement

- La Commission de l'océan Indien pour la confiance accordée ;
- Les Points focaux nationaux du programme ENERGIES ;
- L'ensemble des contributeurs à cette étude.

Table des matières

Avant-propos.....	2
Table des illustrations.....	7
Table des Tableaux.....	8
Introduction - Contexte et objectifs de l'étude.....	9
1 Contexte de l'étude.....	9
2 Objectifs de l'étude.....	9
3 Approche méthodologique – phasage de l'étude.....	10
4 Structuration du rapport final.....	11
RESUME EXECUTIF : Principaux résultats et recommandations.....	12
1 Etat des lieux des filières de bioélectricité et recommandations.....	12
Union des Comores.....	14
Maurice et la Réunion.....	14
➤ Réunion.....	15
➤ Maurice.....	15
Seychelles.....	16
Madagascar.....	16
2 Conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité / balle de riz - Région Boeny.....	17
RAPPORTS DETAILLES.....	19
PARTIE I : Etat des lieux des filières bioélectricité.....	20
1 Union des Comores.....	20
1.1 Eléments de contexte environnemental et économique.....	20
1.2 Contexte énergétique.....	20
1.3 Gouvernance et cadre réglementaire.....	21
1.4 Acteurs et initiatives en matière de bioélectricité.....	22
2 Madagascar.....	23
2.1 Eléments de contexte environnemental et économique.....	23
2.2 La biomasse dans le contexte énergétique de Madagascar.....	23
2.3 Les cadres réglementaires impliqués dans la filière biomasse.....	27
2.4 Les initiatives et acteurs des filières bioélectricité.....	32
3 Maurice.....	36
3.1 Eléments de contexte économique.....	36
3.2 La biomasse dans le contexte énergétique de Maurice.....	36
3.3 Gouvernance et cadre réglementaire concernant la bioélectricité.....	38
3.4 Initiatives et acteurs en lien avec les filières de bioélectricité.....	39
4 La Réunion.....	41

4.1	Eléments de contexte environnemental et économique.....	41
4.2	La biomasse dans le contexte énergétique de la Réunion	41
4.3	Gouvernance et cadres réglementaires des filières biomasse énergie à la Réunion.....	43
4.4	Initiatives en matière de bioélectricité (procédés thermiques).....	47
5	Seychelles	49
5.1	Eléments de contexte socio-économique et environnemental	49
5.2	Contexte énergétique.....	49
5.3	Gouvernance de l'Energie et cadre réglementaire	52
5.4	Les initiatives et projets de bioélectricité.....	53
PARTIE II : Etat des lieux des gisements disponibles en biomasse lignocellulosique.....		54
1	Cadre donné à l'évaluation	54
1.1	Typologie des biomasses lignocellulosiques évaluées	54
1.2	Sélection des ressources les plus pertinentes par pays	55
1.3	Méthodologie générale d'évaluation.....	56
2	Union des Comores	57
2.1	Biomasses d'origine agricole	57
2.2	Biomasses d'origine forestière	60
2.3	Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses.....	61
3	Madagascar	63
3.1	Biomasses d'origine agricole	63
3.2	Biomasses d'origine forestière	71
3.3	Biomasses d'origine urbaine	74
3.4	Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses.....	75
4	L'Ile Maurice	77
4.1	Biomasses d'origine agricole : canne à sucre	77
4.2	Biomasses d'origine forestière	79
4.3	Résidus urbains : déchets verts	82
4.4	Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses.....	83
5	La Réunion	85
5.1	Biomasses d'origine agricole : canne à sucre	85
5.2	Biomasses d'origine forestière	87
5.3	Biomasses d'origine urbaine	90
5.4	Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses.....	91
6	Les Seychelles	93
6.1	Biomasses d'origine agricole	93
6.2	Biomasses d'origine urbaine : déchets verts.....	95
6.3	Biomasses d'origine forestière	96
6.4	Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses.....	98

PARTIE III : Revue des procédés de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique	100
1 Critères pour le choix des procédés de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique.....	101
1.1 La demande, les besoins énergétiques.	101
1.2 La performance et fiabilité de la technologie	101
1.3 L'approvisionnement et le conditionnement de la Biomasse.....	101
1.4 La Réglementation.....	102
1.5 Les coûts	102
2 Procédés de combustion de biomasse.....	103
2.1 Présentation générale	103
2.2 Description technique du procédé.....	103
2.3 Analyse critique des technologies de combustion	106
3 Procédés de gazéification de biomasse.....	109
3.1 Présentation générale	109
3.2 Description technique du procédé.....	109
Focus sur un procédé de gazéification de balle de riz (Cambodge).....	111
3.3 Analyse critique des technologies	112
4 Synthèse au regard des contextes de l'Océan Indien	114
PARTIE IV : Conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité à partir de balle de riz - Région Boeny.....	116
1 Introduction : contexte et objectifs de l'analyse.....	116
1.1 Objectifs spécifiques et méthodologie.....	116
1.2 Analyse préalable du contexte : intérêt et potentiel de la région Boeny	116
1.3 Méthodologie	117
2 Analyse de l'offre potentielle en balle de riz.....	118
2.1 La production rizicole dans le district.....	118
2.2 La production de Balle de riz	121
2.3 Les utilisations concurrentes à l'énergie (fertilisation, combustible, autres...)	125
2.4 Les contraintes de mobilisation des balles de riz	125
2.5 Evaluation d'autres gisements de biomasses.....	126
3 Infrastructure – contraintes	126
4 Analyse des besoins en électricité.....	127
4.1 Raccordement au réseau sur Marovoay ville	127
4.2 Electrification rurale	128
4.3 Les besoins énergétiques des unités de transformation de paddy.....	128
4.4 Besoins énergétiques des autres consommateurs: Les consommateurs du secteur économique local constituent une demande potentielle en électricité.....	129
4.5 Retour d'Expériences des centrales biomasses existantes dans le district.....	129
5 Analyse de scénarios	131

5.1	Présentation des scénarios.....	131
5.2	Évaluation technico-économique des scénarios	132
5.3	Comparaison et discussion des résultats	134
	Références.....	135

Table des illustrations

Figure 1: bilan des consommations en énergie primaire des Comores.....	20
Figure 2 : Répartition des différentes sources d'énergie à Madagascar (Source : Statistique JIRAMA/ADER/ORE, 2016 ; AIDES, 2018)	24
Figure 3 : Part de chaque source d'énergie dans la fourniture d'électricité au niveau national (Source : ORE, 2017).....	24
Figure 4 : Cartographie sommaire de la chaîne de valeur de la valorisation de la biomasse à Madagascar	25
Figure 5 : Les sources d'énergie en électrification rurale (Source : ORE, 2017).....	26
Figure 6: Consommation en énergie primaire à Maurice en 2016 (gauche) et depuis 2007 (droite) - source : Statistics Mauritius	36
Figure 7: Production électrique renouvelable vs fossile (source : Statistics Mauritius, 2017)	37
Figure 8: Mix électrique à Maurice en 2017 (source : Statistics Mauritius).....	37
Figure 9: Evolution de la consommation en énergie primaire – La Réunion (source : SPLER, Nextat 2018).....	42
Figure 10 : Production électrique renouvelable vs fossile (source : SPLER, Nextat 2018)	42
Figure 11: Production électrique à la Réunion par type d'énergie en 2016 (Auteur: OER)	43
Figure 12: Méthodologie globale pour l'élaboration du SRB	45
Figure 13 : Schéma de la nomenclature ICPE 2910 - 2971 – 2771 (source CIBE)	47
Figure 14 : évolution des consommations en énergie primaire des Seychelles entre 2000 et 2015 (données pour 2014 non disponibles)	49
Figure 15 : Production électrique aux Seychelles de 2010 à 2017	51
Figure 16 : Mix électrique aux Seychelles de 2010 à 2017 ⁸	51
Figure 17 : Carte d'occupation du sol– Comores	57
Figure 18 : Cartographie des densités de cocotiers aux Comores	59
Figure 19 : Cartographie de la production de riz à Madagascar (Robin, à partir des données 2009) ..	63
Figure 20 : Localisation des décortiqueries et rizeries à Madagascar (source ILO 2007)	64
Figure 21 : Cartographie des productions de maïs à Madagascar (Robin)	67
Figure 22 : Canne à sucre à Madagascar : (i) cartographie ; (ii) production nationale de canne à sucre (source FAO) ; (iii) production industrielle de canne à sucre (source Country Stat).....	69
Figure 23 : Carte d'occupation du sol– Système d'Aires Protégées à Madagascar (source SAPM 2016)	72
Figure 24 : Evolution de la superficie (récoltée) et de la production de canne à sucre [20]	77
Figure 25 : Productivité dans les différentes zones cannières (source MSIRI 2018).....	78
Figure 26 : Land use of Mauritius (Chung <i>et al.</i> , 2011)	81
Figure 27 : Cartographie de la Canne à sucre - Réunion	85
Figure 28 : peuplements de Cryptoméria à la Réunion (source ONF Réunion)	88
Figure 29 : peuplements d'Acacia mearnsii à la Réunion (source ONF Réunion)	89
Figure 30 : Carte d'occupation du sol – Seychelles	93
Figure 31 : Production de bioélectricité à partir de biomasse lignocellulosique	100
Figure 32 : Bagasse (Casuco, Vietnam).....	102
Figure 33 : production d'électricité par combustion (schéma de principe)	103
Figure 34 : Exemple de foyer à grille	104
Figure 35: Schéma du cycle eau vapeur et photo d'une chaudière de centrale thermique	105
Figure 36: Exemple de turbine à vapeur (Casuco, Vietnam).....	105
Figure 37 : Schéma récapitulatif des processus de transformation de paddy chez les types d'usines à Marovoay	123
Figure 38 : Les infrastructures routières dans le District de Marovoay	127

Table des Tableaux

Tableau 1 : Etat des lieux du parc de production électrique (source : Forum Energies, Maurice 28-30 mai 2018).....	21
Tableau 2. Les régimes appliqués pour les centrales à biomasse en ERD	28
Tableau 3. Les régimes appliqués en autoproduction pour les centrales à biomasse.....	28
Tableau 4 : Installations biomasses à Madagascar	32
Tableau 5 : Projets de gazéification à la Réunion.....	48
Tableau 6 : Panorama des biomasses évaluées par catégorie et par pays	56
Tableau 7 : Panorama des biomasses évaluées par catégorie et par pays	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 8. Production issues de cocotiers (2005).....	60
Tableau 9 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Comores	62
Tableau 10 : Production de riz dans les principales régions (Source : Ministère de l'Agriculture, 2017)	63
Tableau 11. Production de maïs pour la campagne pluviale 2016-2017 et la campagne baiboho 2017 (Sources : DRAE ou CCI).....	66
Tableau 12 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Madagascar	76
Tableau 13 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Maurice	84
Tableau 14 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Réunion	92
Tableau 15 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Seychelles	99
Tableau 16. Proposition de classification des installations par gamme de puissance entrante	101
Tableau 17: Grille d'analyse des procédés de combustion de biomasse.....	108
Tableau 18: Grille d'analyse des procédés de gazéification de biomasse.....	113
Tableau 19: Présélection de procédés de conversion de conversion thermochimique pour le contexte OI	115
Tableau 20 : Période culturale des 4 saisons rizicoles dans le District de Marovoay	119
Tableau 21 : Les variétés de riz utilisées dans le district de Marovoay	120
Tableau 22 : Production rizicole du District de Marovoay	120
Avec les superficies rizicoles mentionnées ultérieurement pour chaque saison, en reprenant les productions annuelles ci-dessus (Tableau 23), on peut donc, en toute première approximation, estimer les productions saisonnières suivantes pour l'année 2017 :	121
Tableau 24 Quelques caractéristiques d'unités de transformations de paddy rencontrées.....	124
Tableau 25 : Estimation de la production de balle de riz à Marovoay.....	124
Tableau 26 : principales caractéristiques techniques des 3 scénarios étudiés à Marovoay.....	132
Tableau 27 : hypothèses économiques retenues pour l'évaluation	132
Tableau 28 : principales caractéristiques techniques des 3 scénarios étudiés à Marovoay.....	133

Introduction - Contexte et objectifs de l'étude

1 Contexte de l'étude

La présente étude a été commandée par la Commission de l'Océan Indien dans le cadre du programme Energies. Ce « Programme de développement des énergies renouvelables et d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les Etats membres de la COI » est financé par l'Union européenne dans le cadre du 10^{ème} FED (Fonds Européens de Développement). Il vise à (i) faciliter les conditions d'accès au développement, à l'investissement et à la gestion durable des énergies renouvelables ; (ii) augmenter l'efficacité énergétique des différents secteurs économiques.

La production d'électricité à partir de biomasse ligneuse présente de sérieux atouts pour contribuer à une meilleure autonomie énergétique des états membres de la COI : i) les ressources en biomasse, ligneuse quoique inégalement réparties sur les territoires, sont globalement sous-exploitées ; ii) elle peut constituer une énergie de base ou semi-base et est ainsi complémentaire aux énergies renouvelables intermittentes telles que le solaire et l'éolien dans une perspective d'autonomie énergétique des états membres de la COI ; iii) elle est potentiellement source de revenus complémentaires pour les secteurs agricole et agro-industriel insulaires.

Les solutions technologiques de production de bioélectricité sont fortement dépendantes des contextes locaux, très contrastés au sein de la COI : gisements de ressources mobilisables, structuration du secteur agro-industriel, besoins ciblés (énergie de base raccordée au réseau, électrification décentralisée, valorisation de la chaleur cogénérée, etc.).

2 Objectifs de l'étude

Selon les termes de référence, les objectifs particuliers de la présente étude consistent à évaluer le potentiel et la pertinence de filières de bioélectricité pour les états membres de la COI.

Les filières à considérer dans la présente étude concernent :

- la biomasse dite ligneuse, ou lignocellulosique : biomasses forestières, résidus agricoles et agro-industriels secs, les fractions ligneuses de déchets urbains.

En revanche, les biomasses suivantes ne sont pas évaluées : effluents d'élevage, coproduits liquides ou humides, ordures ménagères, déchets industriels...

- les procédés par voie thermique (ou thermochimique), pertinents en vue d'une production d'électricité, soit : la combustion et la gazéification.

Les filières et procédés suivants ne sont pas pris en compte : biocarburants, méthanisation (biogaz) et tout autre procédé par voie biochimique.

Les résultats à atteindre sont les suivants :

- Etat des lieux et qualification de la biomasse ligneuse disponible sur les territoires des états membres de la COI
- Etat des lieux des filières et technologies de production d'électricité à partir de biomasse ligneuse existantes dans les états membres de la COI
- Recommandations sur les perspectives de développement de la bioélectricité par filières et technologies de conversion

3 Approche méthodologique – phasage de l'étude

L'approche proposée comportait 4 axes, organisés en 2 phases

Phase 1 :

1- Etat des lieux des filières de production de bioélectricité

Cette partie a consisté à faire un diagnostic pour chaque état membre sur les points suivants :

- Contexte énergétique, gouvernance et politiques publiques
- Cadres réglementaires (électricité – biomasse)
- Acteurs et parties prenantes, initiatives en cours

2- Evaluation des gisements disponibles en biomasse ligneuse

Pour chaque pays, les principaux gisements ont été identifiés puis évalués selon la méthodologie suivante :

- Potentiel théorique des biomasses produites sur le territoire, évalué à partir de données disponibles concernant les rendements à l'hectare, les itinéraires techniques en place, etc.
- Potentiel disponible pour une valorisation en bioélectricité, tenant compte de contraintes liées aux droits d'accès, aux usages concurrents, à la saisonnalité des cultures, etc.

3- Revue des technologies de conversion thermochimique

Les principales technologies ont été revues sur les critères suivants :

- Description et analyse technique des différents systèmes existants
- Analyse globale des performances techniques des procédés, critères de sélection/compromis

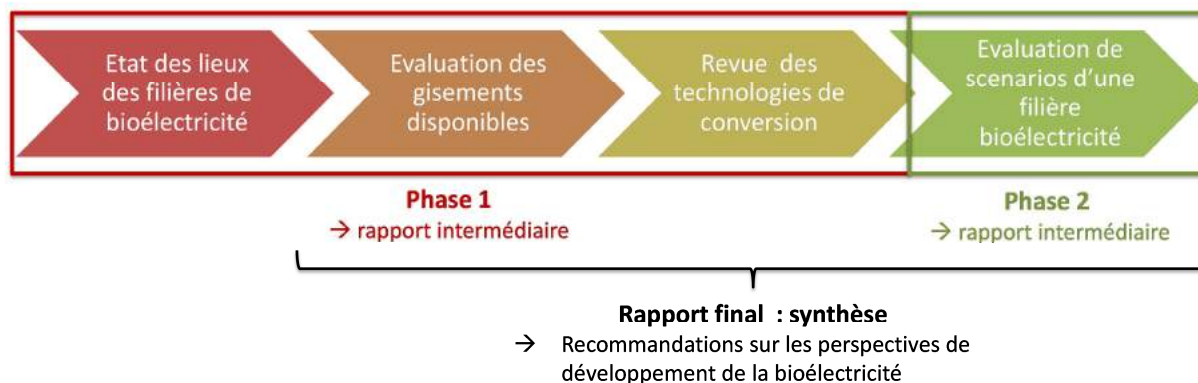
L'ensemble de cette première phase s'est appuyé sur des recherches bibliographiques, des enquêtes et entretiens, des restitutions de séminaires et colloques, ainsi que sur les connaissances scientifiques et techniques des experts impliqués.

Phase 2 :

4- Construction et évaluation de scénarios de production de bioélectricité

Cette étude a été ciblée sur un contexte spécifique, identifié et sélectionné pour son intérêt potentiel suite à la phase 1. Elle a consisté à évaluer les conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité à partir de balle de riz, dans la Région Boeny (Madagascar).

Ce travail s'est grandement appuyé sur une mission terrain qui a permis de mieux évaluer l'offre et la demande, puis de définir 3 scénarios qui ont été évalués.



4 Structuration du rapport final

Le présent rapport rassemble les résultats obtenus sur l'ensemble des deux phases de l'étude.

Dans un premier temps, un résumé synthétique rassemble les principales conclusions, et formule quelques diagnostics et recommandations générales.

Dans un deuxième temps les rapports détaillés reprennent les quatre axes présentés plus haut.

- Partie I : Etat des lieux détaillé par pays des filières de production de bioélectricité
- Partie II : Evaluation détaillée par pays des gisements disponibles en biomasse ligneuse
- Partie III : Revue des technologies de conversion thermochimique de la biomasse ligneuse
- Partie IV : Etude d'un contexte spécifique : conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité / balle de riz - Région Boeny.

RESUME EXECUTIF : Principaux résultats et recommandations

1 Etat des lieux des filières de bioélectricité et recommandations

L'état des lieux réalisé fait ressortir d'une façon très générale que le développement des énergies renouvelables figure dans les préoccupations et orientations stratégiques des états membres. Cette volonté concerne plus particulièrement le secteur de l'électricité qui est très largement dépendant des produits fossiles importés. Mais la place accordée à la bioélectricité dans la transition énergétique est variable selon les pays.

La production d'électricité à partir de biomasse ligneuse présente de sérieux atouts pour contribuer à une meilleure autonomie énergétique des états membres de la COI. Deux enjeux majeurs spécifiques aux filières biomasse méritent d'être rappelés :

- Elle peut répondre à différentes demandes dans la mesure où elle peut
 - (i) constituer une énergie de base ou semi-base, et est ainsi complémentaire aux énergies renouvelables intermittentes telles que le solaire et l'éolien
 - (ii) convenir à des solutions de type décentralisé, sur le principe d'unités de petites puissances.
- Elle présente des enjeux intersectoriels : énergie, agriculture, environnement, aménagement du territoire, mais aussi une possible source de complexité dans la définition de priorités et la coordination de politiques.

Par ailleurs, les entretiens menés auprès des acteurs locaux ont fait ressortir deux atouts supplémentaires dans un contexte insulaire :

- (iii) Les filières biomasse sont potentiellement sources d'emploi en milieu rural et de revenus complémentaires pour les secteurs agricole et agro-industriel ;
- (iv) Elles peuvent participer à l'élimination de sous-produits sources potentielles de pollutions

L'évaluation des gisements en biomasse s'est concentrée sur les ressources suivantes :

- Biomasses agricoles pour lesquelles on distingue (i) les résidus de culture ; (ii) les résidus de transformation, voire les cultures dédiées à l'énergie.
 - ➔ Les cultures suivantes ont été évaluées, à un degré variable selon les pays : riz, canne à sucre, maïs et coco.
- Biomasses forestières pour lesquelles on distingue (i) les résidus d'exploitation légale de la forêt naturelle ; (ii) les plantations forestières ; (iii) les résidus de transformation du bois ; (iv) les biomasses issues de l'exploitation des espèces invasives ligneuses.
- Les biomasses d'origine urbaine, de type déchets verts ou bois de palettes.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu synthétique des gisements évalués pour chaque pays en biomasses lignocellulosiques potentiellement mobilisables à court terme pour des filières de bioélectricité.

Il convient de signaler que cette sélection ne se veut pas exhaustive. Pour chaque pays, certaines cultures n'ont pas été considérées pour des raisons (i) soit de volume de production trop faible à l'échelle de l'île, (ii) de difficultés d'accès ou de collecte a priori trop importantes ; (iii) soit encore par des défauts de données. Cette absence ne signifie pas que localement certaines cultures/résidus puissent avoir un intérêt pour de petites productions électriques décentralisées. Ces remarques sont

notamment valables pour Madagascar en raison de la taille de l'île et de la diversité de contextes locaux / régionaux.

Par ailleurs, ce tableau ne doit être considéré que comme un instantané de la situation actuelle, dont certaines nuances sont largement discutées dans le rapport détaillé de ce travail.

Illustration à titrer et à numéroté

Catégorie	Sous-catégorie	Biomasse	Comores	Seychelles	Madagascar	Réunion	Maurice
Biomasses agricoles	Résidus de culture	Pailles de canne à sucre	?		+	+	+
		Pailles de riz	?		+		
		Feuilles/tiges de maïs			+		
		Bourres et pétioles de coco	+	+			
	Résidus de transformation	Bagasse (CAS)	?		+	+	+
		Balle de riz	?		+		
		Rafles de maïs			+		
		Coques de coco	+	+			
	Cultures dédiées	-					?
Biomasses forestières	Résidus d'exploitation légale de forêt naturelle		+	+	+	+	+
	Plantations forestières		+	+	+		+
	Résidus de transformation du bois		+	+	+	+	+
	Exploitation d'espèces invasives					+	
Biomasses d'origine urbaine	Déchets verts	Fraction ligneuse		+		+	+
	Broyats de palettes					+	
	Gisement important mais déjà exploité						
	Potentiel important ou intéressant à mieux évaluer						
	Potentiel incertain existant mais contraintes limitant la disponibilité						
	Potentiel disponible limité à court terme – fortes contraintes						

Il ressort d'une façon générale que l'offre en biomasse est abondante à l'échelle de la COI. Néanmoins, quelques points d'attention sont rappelés ici.

- On constate une assez forte disparité d'un pays à l'autre quant à l'existence ou à la disponibilité de données statistiques. La constitution ou le renforcement des possibilités d'accès aux bases de données à l'échelle nationale ou locale (régionale) est fortement recommandée pour mieux évaluer l'offre.
- Les déchets verts (notamment leur fraction ligneuse) issus de l'entretien des espaces divers (collectifs, privés, friches...) représentent une ressource potentiellement intéressante et peu valorisée. Néanmoins, le potentiel réel de cette ressource reste assez mal évalué. De même le statut réglementaire mérite d'être clarifié, ainsi que les modalités de collecte et de préparation en combustibles.
- Il est indispensable de bien prendre en compte les usages existants pour éviter des concurrences d'usages, notamment dans le cas de filières bois énergie existantes (bois de feu, charbon) ou filières de valorisation de matière. La non-prise en compte de ces usages pourrait conduire à des défauts d'approvisionnement d'une future centrale.
 - ➔ Ce dernier point a été intégré à la méthodologie utilisée dans cette étude, mais on touche ici aux limites d'une analyse globale à l'échelle d'un pays, notamment dans le cas

d'un pays aussi grand que Madagascar. Seules, des démarches locales (comme celle initiées en phase 2 de la présente étude) peuvent permettre d'affiner l'offre.

A partir de l'ensemble des informations collectées lors de la 1^{ère} phase de l'étude, nous pouvons dresser les diagnostics suivants par pays et avancer quelques pistes de travaux ultérieurs à mener pour affiner ces diagnostics.

Union des Comores

Le gouvernement comorien porte une réelle volonté de développer les énergies renouvelables dans un environnement économique et réglementaire en évolution. Les priorités actuelles concernent d'une part le renouvellement des infrastructures permettant de renforcer la fiabilité du réseau électrique. D'autre part, en termes de développement des énergies renouvelables, la géothermie et le photovoltaïque figurent parmi les priorités, tout comme la rénovation des infrastructures hydro-électriques.

La bioélectricité ne figure a priori pas dans les priorités, mais reste une opportunité évoquée pour mieux valoriser les ressources locales et gérer les déchets. A ce titre, trois principales contraintes sont identifiées au développement de la filière et méritent une attention particulière.

- Le cadre réglementaire spécifique à la bioélectricité doit être renforcé que ce soit pour le statut des biomasses ou les conditions de production de bioélectricité
- Le pays souffre d'une forte pression sur les ressources en bois en raison des besoins en bois-énergie (80% de la consommation d'énergie primaire), ce qui ne permet pas à court terme d'envisager raisonnablement les ressources en bois comme une source durable d'électricité.
- D'une façon générale les gisements potentiels en biomasse sont limités mais l'évaluation est très incertaine en raison d'un manque flagrant de données fiables sur les productions, mais aussi les usages concurrents.

Sur le plan d'un potentiel théorique, les sous-produits de la culture de coco nous semblent être les seuls potentiellement exploitables à court terme. De nombreuses réserves nous incitent à être très prudents vis-à-vis des usages actuels et par conséquent aux gisements réellement disponibles.

Une recommandation pourrait consister à mettre des moyens supplémentaires en vue d'une étude spécifique dédiée à l'évaluation des biomasses ligneuses, notamment pour les sous-produits de la filière coco.

Maurice et la Réunion

Maurice et la Réunion présentent des contextes relativement proches dans la mesure où les deux îles s'appuient sur une filière canne à sucre prépondérante, qui génère des quantités importantes de bagasse déjà valorisée dans les centrales mixtes charbon/bagasse. Ceci permet aux deux îles de bénéficier d'un taux important d'EnR dans leur mix électrique, qui plus est en base.

Ce modèle reste cependant fragile du fait du contexte compliqué de la filière canne à sucre. Un premier enjeu majeur commun pour ces deux îles consiste donc à maintenir la culture de canne afin de maintenir un approvisionnement en biomasse aux centrales thermiques, voire de l'augmenter par des gains de productivité ou de nouveaux itinéraires techniques.

Un autre enjeu majeur commun aux deux îles consiste à trouver des sources de biomasse pour substituer progressivement le charbon dans les centrales actuelles. Si les expérimentations en cours diffèrent et les choix stratégiques potentiellement divergentes, on retrouve des problématiques

communes liées à la mobilisation à moindre coût de ressources comme le bois, la paille, les déchets verts, voire l'implantation de cultures énergétiques sur lesquelles on a encore peu de recul.

➤ Réunion

La Réunion s'est fixé des objectifs très ambitieux en termes de développement des ENR (100% en 2030) qui se traduisent par une volonté d'appuyer le développement de filières de bioélectricité. L'enjeu majeur étant la substitution progressive du charbon par des biomasses en priorité locales.

En termes de gouvernance, les orientations et actions prioritaires sont en cours de finalisation dans le cadre du Schéma Régional Biomasse et de nombreuses initiatives publiques et privées sont déjà lancées pour pérenniser et optimiser les filières existantes, structurer de nouvelles filières d'approvisionnement, plus particulièrement la fraction ligneuse des déchets verts, et le bois énergie... Si les gisements disponibles sont désormais bien caractérisés, les coûts réels de mobilisation doivent être mieux estimés en tenant compte des fortes contraintes de l'accessibilité géographique qui caractérisent cette île.

Sur le plan réglementaire, la Réunion bénéficie d'un cadre structuré sur le plan national français avec un régulateur dont les missions sont bien établies. Cependant ce cadre réglementaire mérite d'être pour le rendre plus incitatif sur le plan économique pour les filières biomasse et surtout adapté au contexte spécifique d'une ZNI (zone non interconnectée) comme la Réunion.

➤ Maurice

Maurice s'est également fixé des objectifs ambitieux en termes d'ENR dans le mix électrique, la part de la biomasse restant à préciser par rapport aux autres énergies renouvelables comme l'éolien, le solaire. Le cadre réglementaire et la gouvernance sont en cours de structuration, plus particulièrement les prérogatives et compétences de structures comme l'URA et la MARENA et leur positionnement vis-à-vis de la CEB. Maurice bénéficie d'un riche tissu d'acteurs publics et privés, ce qui permet d'envisager la mise en place de solutions innovantes.

En termes de ressources nouvelles, le plus gros potentiel mobilisable à court terme est la paille de canne, avec un potentiel estimé à 100 000 tMS/an voire 25 000 de plus si la paille de qualité inférieure est comptabilisée. La force de cette filière tient au fait que les technologies de collecte, de transport et de transformation de la paille de canne comme combustible pour les centrales thermiques à bagasse sont maîtrisées. A court terme également, le potentiel de la fraction ligneuse des déchets verts semble intéressant, sous réserve qu'une collecte et des moyens de tri/préparation efficaces soient mis en place. Un échange d'expériences avec la Réunion pourrait être bénéfique dans ce sens. Un appel d'offre est en cours pour la construction d'une unité de production de 15 à 20 MW à partir de déchets ménagers (waste-to-energy). A noter l'existence d'expérimentations en termes de plantations dédiées, mais le potentiel réel de ce type de cultures n'a pas pu être évalué faute de données et de recul.

Enfin, il faut souligner que notre étude s'est focalisée sur l'île Maurice. L'île Rodrigues fera l'objet d'une analyse spécifique qui a été lancée par la COI et permettra d'évaluer le potentiel en biomasses ligneuses, en vue d'une filière de bioélectricité.

Seychelles

Pour accroître la production d'énergie renouvelable, les orientations privilégiées par les Seychelles concernent le développement de l'éolien, du solaire ainsi que la valorisation énergétique des déchets d'élevage et des déchets d'origine urbaine. A ce titre, le cadre réglementaire est en cours de structuration.

La priorité est donnée au déploiement des énergies intermittentes (solaire, éolien) à court terme. Si la biomasse n'est pas la source d'ENR privilégiée et les gisements modestes, quelques potentialités méritent néanmoins d'être explorées. Les principales ressources identifiées sont les sous-produits de la culture de coco et les déchets verts, dont les quantités disponibles sont étroitement liées (i) à l'existence d'unités de transformation, qui auraient l'intérêt de concentrer une partie du gisement ; (ii) à la mise en place de systèmes de collecte sélective.

Les hypothèses utilisées pour estimer les gisements théoriques et disponibles sont encore très perfectibles. Elles pourront être affinées via des enquêtes de terrain, plus particulièrement pour ce qui concerne la réelle disponibilité des sous-produits de cultures de coco et l'évaluation des ressources forestières.

Dans cette idée, une analyse spécifique a été lancée par la COI et permettra d'évaluer le potentiel en biomasses ligneuses, en vue d'une filière de bioélectricité. A ce stade, elle ne concerne que l'île de la Digue, mais pourrait être étendue aux autres îles, notamment celle de Mahé.

Madagascar

Madagascar présente un potentiel important pour le développement de filières bioélectricité mais la diversité des productions agricoles et forestières, des climats et des contextes socio-économiques régionaux rend difficile toute évaluation à l'échelle du pays.

La production d'énergie à partir de la biomasse rejoint l'objectif gouvernemental de promotion des énergies renouvelables essentiellement dans les domaines de l'électrification rurale et de production d'électricité industrielle.

Parmi l'ensemble des ressources potentielles, la balle de riz offre assurément la meilleure opportunité de valorisation en bioélectricité à Madagascar en raison de l'important gisement disponible et de l'existence de régions où existe une forte concentration de production et de rizeries/décortiqueries. Par ailleurs, dans certaines localités, la présence de ces résidus constitue une réelle nuisance pouvant être source de pollutions atmosphériques (brulage sauvage) ou hydrique (rejet des résidus dans les rivières).

Dans ces dix dernières années, des expériences d'ERD à partir de centrales utilisant la balle de riz ont pu être menées mais à ce jour aucune n'a pu être pérennisée. Néanmoins, les quelques retours d'expérience obtenus lors de la présente étude font état d'un vif intérêt de la part des opérateurs électriques locaux en raison des coûts réduits de production. Dans un contexte mondial où les solutions de production d'électricité à partir de balle de riz se multiplient en Asie du Sud-Est, il nous semble nécessaire de réaliser un bilan approfondi des expériences malgaches afin de comprendre les sources de dysfonctionnement et ainsi de mieux définir les conditions d'un éventuel déploiement de telles solutions.

D'autres gisements évalués présentent des opportunités, avec toutefois des contraintes potentielles fortes qui ne permettent pas d'envisager à court terme une valorisation en bioélectricité. Un gisement serait en particulier à affiner : la bagasse issue des sucreries industrielles et artisanales. Des évaluations peuvent être proposées pour affiner des scénarios autour de la valorisation de la bagasse: (i) diagnostic des unités industrielles et des opportunités de réinvestissement / modernisation au niveau des sucreries industrielles ; ou (ii) prospection en vue d'une valorisation des bagasses produites au niveau des sucreries artisanales.

2 Conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité / balle de riz - Région Boeny

L'objectif principal de cette présente analyse était d'analyser les opportunités et les contraintes de l'implantation d'une unité de production de bioélectricité dans une région de Madagascar. Notre choix d'analyse s'est porté sur la zone de production de Marovoay (Région du Boeny) de par son accessibilité aisée, la disponibilité des données statistiques, son expérience passée en matière de production de bioélectricité (centrales d'Anjiaja et de Manerinerina), ses besoins en électricité et sa disponibilité importante en balle de riz.

Les enquêtes menées sur le terrain ont notamment permis

- (i) d'affiner l'offre en biomasse, par une analyse plus fine de la production et de la saisonnalité rizicole, des pratiques et des structurations de la transformation et de la disponibilité en balle de riz.
- (ii) d'affiner la demande électrique par une analyse des besoins et opportunités en termes de raccordement au réseau, en électrification rurale ou bien en autoconsommation sur les sites de transformation.
- (iii) d'enquêter sur les retours d'expérience sur les centrales à biomasse existantes.

De ces enquêtes, trois scénarios ont été proposés et comparés

- Le **scénario 1** correspond à l'installation d'une centrale biomasse de moyenne puissance (500 KWé) complétant les installations existantes de la Jirama sur Marovoay Ville. Une telle unité permettrait la fourniture d'une électricité de base 24 heures sur 24.
- Le **Scénario 2** correspond à l'installation d'une centrale biomasse de petite puissance (100 KWé) afin de répondre aux besoins en électricité rurale décentralisé du bourg d'Ankazomborona.
- Le **Scénario 3** correspond à l'installation d'une micro-centrale à biomasse chez un dépaillieur (ou un groupement de 2 à 3 dépaillieurs) afin de répondre dans un premier temps à ses besoins (autoproduction) et à compléter un réseau ERD existant.

D'un point de vue technico-économique le scénario 1 centrale est certainement le plus efficient. Les coûts de production du kWh final seraient deux fois moindres qu'avec un groupe diesel. Les besoins en biomasse de la centrale sont largement satisfaits par la disponibilité au sein de la ville de Marovoay même. Une telle centrale permet par ailleurs à la Jirama de disposer d'une unité de production de base fonctionnant 24h/24. Une telle puissance et un tel mode de fonctionnement permet une moindre usure du matériel et ainsi des durées de vie de la centrale de l'ordre de 20 ans. Néanmoins, les coûts d'investissement et de maintenance sont importants, de l'ordre de 1 500 000 USD.

Le scénario 2 affiche des coûts de production équivalents à ceux obtenus avec un groupe diesel, dans les conditions de fonctionnement d'une unité ERD (12h par jour avec un facteur de charge de 60%). Dans de telles conditions nous avons estimé que la durée de vie du matériel serait réduite à 15 ans, ce qui pèse sur le coût d'amortissement du matériel. Une telle solution à des coûts comparables à ceux d'une unité diesel possède l'avantage de tirer parti d'une ressource locale, dont le prix et la disponibilité ne dépendent pas du marché du pétrole. L'expérience de la centrale d'Anjiaja dans des conditions similaires a même montré que le coût de production pouvait être inférieur à celui d'un groupe gasoil et que les moteurs mixtes offraient beaucoup de souplesse d'utilisation. Néanmoins, la même expérience a montré que ces équipements demandaient un grand savoir-faire et une attention constante. Les coûts de maintenance, que nous avons intégrés dans notre évaluation, sont

importants et demandent à être provisionnés dans le budget de tout projet et demandent également aux opérateurs de se former sur la gestion de ces équipements.

Le Scénario 3 a des résultats économiques similaires à ceux du scénario 2. Il possède les mêmes avantages (ressource disponible localement, indépendance possible par rapport au prix du gasoil) mais également les mêmes inconvénients du point de vue de la maintenance. Ainsi, il semble en l'état actuel difficile de demander à des dépailliers, dont le métier est de produire du riz, d'acquérir des compétences techniques en gestion de telles installations. D'autant plus qu'il faut rappeler que la production de riz est intermittente, dépendant des aléas climatiques et des récoltes des paysans et qu'à petite échelle, cette intermittence entraîne nécessairement un fonctionnement irrégulier de la centrale biomasse, augmentant alors la demande en maintenance.

RAPPORTS DETAILLES

PARTIE I : Etat des lieux des filières bioélectricité

1 Union des Comores

1.1 Eléments de contexte environnemental et économique

Le secteur agricole emploie 80% de la population active mais seulement 36% du PIB, ce qui témoigne de la faiblesse de la productivité agricole et de la pauvreté du pays. Cette contribution économique s'explique par la forte rentabilité des principales cultures de rente des Comores : la vanille, le girofle et l'ylang-ylang, qui représentant 70% des exportations. En parallèle, et même si le gouvernement ambitionne de renforcer l'autosuffisance alimentaire des Comores, 75% des denrées alimentaires consommées sont importées. Cela est dû à une hausse de la population urbaine, tandis que le gros de la production nationale vient de petites fermes qui produisent des denrées essentiellement destinées à la consommation domestique.

Le secteur secondaire est dominé par de petites entreprises artisanales, et représente 10 % du PIB, l'industrie manufacturière comptant pour à peine plus de 3 % du PIB. Le secteur privé est peu développé et peu diversifié en raison d'un climat des affaires peu favorable et l'activité économique est contrainte par les capacités énergétiques du pays, les délestages électriques y étant de plus en plus fréquents. Malgré tout en 2016, le secteur industriel a connu une croissance forte, notamment le sous-secteur de l'électricité.

Le secteur tertiaire est le plus développé aux Comores et il est composé en majorité de petites entreprises de commerce d'importation, et de nombreuses entreprises informelles. Selon l'INSEED, près de 50% du PIB émaneraient du secteur informel. D'après la Chambre de Commerce et d'Industrie, l'UCCIA, les principales entreprises comoriennes sont les commerces de détail (type supermarché).

1.2 Contexte énergétique

1.2.1 Aperçu général du profil énergétique des Comores

L'offre énergétique des Comores était évaluée à 450 kTep en 2015.

Comme dans de nombreux pays africains, la source d'énergie principale est le bois énergie (bois et charbon de bois), il représente entre 71 et 80% (selon les sources) de l'énergie primaire. Les principaux usages sont la cuisson des aliments (ménages et restaurants informels) et production de chaleur pour les distilleries d'Ylang-ylang. On mesure ainsi les menaces qui pourraient peser sur les ressources ligneuses de ce pays dont la population devrait doubler tous les 25 ans pour atteindre une densité moyenne de 862 hab/km² à l'horizon 2050, ce qui correspond à quatre fois la densité actuelle.

Les produits pétroliers représentent 20% de l'énergie primaire ; ils sont utilisés pour la génération d'électricité et le transport (terrestre, maritime et aérien). Enfin, les autres sources d'énergie, par exemple le gaz butane satisfaisant les besoins de cuisson des ménages ou les énergies renouvelables, représentent une quantité négligeable d'environ 2 % du total.

Offre énergétique en ktep	
biomasse	351
hydrocarbures	90
autres*	9
* charbon, PV, éolien,...	
Total	450

Figure 1: bilan des consommations en énergie primaire des Comores.

1.2.2 Les enjeux de la production d'électricité aux Comores

La production d'électricité aux Comores est depuis longtemps marquée par des difficultés importantes (faible taux d'accès à l'électricité, nombreuses coupures dont de sévères crises en 1996-1997 et 2014-2015). L'essentiel des efforts et projections en matière d'énergie s'est donc concentré sur le secteur de l'électricité.

Des progrès ont été réalisés en matière d'électrification principalement grâce à l'ajout de capacités thermiques, ce qui a permis à l'archipel de tripler sa production électrique en 15 ans. Mais le système reste déficient tant en quantité qu'en qualité de l'électricité.

- L'offre reste insuffisante, ce qui occasionne des délestages fréquents.
- Les infrastructures de production et de distribution de l'électricité sont peu fiables et vétustes, occasionnant un taux de perte estimé à 40%. Le réseau n'est pas interconnecté, ce qui augmente l'ampleur des pannes en l'absence de tout moyen de basculement de la distribution d'une centrale à l'autre.
- Malgré le taux de couverture géographique élevé (supérieur à 90%), le taux d'accès à l'électricité est très faible (47 %)¹.

D'autre part, la production électrique est quasi-totalement dépendante des énergies fossiles : 97,2 % est assurée par combustion de produits pétroliers (fuel lourd et gasoil) dans les centrales thermiques (369,3 GWh en 2015). Le Tableau 1 détaille la répartition du parc installé sur les 3 îles. La part actuelle des ENR dans le mix électrique est inférieure à 1% (centrale hydraulique qui fonctionne à Anjouan).

Enfin, le coût de l'électricité est parmi les plus élevés d'Afrique (prix à la consommation de 0,24€ le kWh), à cause notamment du coût d'utilisation de générateurs diesels.

	Grande Comores	Anjouan	Mohéli	TOTAL
Installé	19,4 MW	8,2 MW	4,7 MW	33,3 MW
Effectif	11,9 MW	5,3 MW	2,4 MW	19,6 MW

Tableau 1 : Etat des lieux du parc de production électrique (source : DGEME - 2019)

1.3 Gouvernance et cadre réglementaire

La gouvernance du secteur de l'énergie est marquée par l'absence de cadre légal, réglementaire et institutionnel adapté. Suite aux Assises Nationales de l'Energie en Union des Comores², un certain nombre de recommandations ont été émises quant à la politique énergétique à mettre en place à l'horizon 2030. Les principaux axes stratégiques issus des Assises sont les suivants :

- Développement et diversification de l'offre énergétique sur les îles.
- Développement et promotion des actions de maîtrise de l'énergie.
- Elaboration et mise en œuvre d'un observatoire et pilotage de l'énergie.
- Définition d'une politique tarifaire venant en appui à la politique d'accès à l'énergie.
- Amélioration du cadre institutionnel, législatif et réglementaire.
- Renforcement des capacités de tous les acteurs (Privés, Publics et Parapublics)

A ce jour, les principales initiatives de développement des énergies renouvelables sont concentrées sur la géothermie, le solaire et l'hydraulique (notamment via la rénovation des infrastructures hydro-

¹ Communication du PFN COI des Comores

² https://www.gouvernement.km/assets/pdf/Rapport_Assises_Nationales_Energie.pdf

électriques). La biomasse énergie ne figure a priori pas dans les priorités, mais reste une opportunité évoquée pour mieux valoriser les ressources locales et gérer les déchets.

A signaler par ailleurs que la Banque Africaine de Développement est le principal partenaire des Comores dans le secteur de l'énergie, à travers le projet d'appui au secteur de l'énergie (PASEC) et l'élaboration d'un Schéma directeur de développement de l'énergie.

1.4 Acteurs et initiatives en matière de bioélectricité

Il n'existe pas à notre connaissance d'initiative récente en matière de projets de bioélectricité.

2 Madagascar

2.1 Eléments de contexte environnemental et économique

Madagascar est un pays essentiellement rural, où, en 2014, le secteur agricole représentait 30 % du Produit Intérieur Brut (PIB) du pays selon la Banque Mondiale, et 43 % si l'on y intègre l'agroalimentaire. Le secteur emploie 80 % de la population active. Grâce à son climat et sol variés, différentes sortes de cultures peuvent être réalisées sur la grande Ile. La superficie cultivable s'élève à 8 millions d'hectares, soit 14% de la superficie totale. La superficie cultivée s'élève à environ 2,6 millions d'hectares, soit 4% de la superficie totale et 31% de la superficie cultivable³. Les agriculteurs se concentrent essentiellement sur les cultures vivrières d'autosubsistance : riz, maïs, manioc, les légumineuses. Madagascar est également connu pour ses produits de rente tels que le girofle, le cacao, le poivre et le café, et la vanille dont il est le 1^{er} exportateur mondial.

L'accès à l'électricité ne concerne que 17% des ménages (milieu rural et urbain). Selon la société nationale d'électricité Jirama, la production d'électricité a atteint 1 025 252 MWh en 2015. Le nombre d'abonnés raccordés au réseau en 2015 a atteint environ 505 000 dominés à 98% par des particuliers (ménages). Le secteur industrie ne constitue que moins de 1% des abonnés mais consomme 34% de l'électricité produite.

Madagascar est également connu pour la richesse de sa biodiversité, son territoire héberge 1,7 millions d'espèces. L'île abrite cinq familles de plantes, d'environ 14 000 espèces végétales, dont près de 90% sont endémiques. Madagascar est ainsi, considéré parmi les priorités mondiales de conservation de la biodiversité. La couverture de forêts naturelles en 2010 a été évaluée à 9,2 millions ha. Malheureusement, environ 40 000 hectares de forêts naturelles sont perdus chaque année dans le pays⁴. Madagascar reste ainsi dans la catégorie des pays à fort taux de déforestation. Les feux de brousses, les mauvaises pratiques agricoles (culture sur brulis) et l'exploitation non rationnelle de la ressource forestière (prélèvement de bois, production de charbon de bois) constituent les principales raisons de la déforestation.

2.2 La biomasse dans le contexte énergétique de Madagascar

2.2.1 La biomasse, une importante source d'énergie pour Madagascar

En 2015, la consommation énergétique primaire du pays était évaluée à 6 718 kTep. Les hydrocarbures, le charbon minéral, l'hydroénergie ainsi que la biomasse constituent les différentes sources d'énergie du pays.

La biomasse est la source d'énergie la plus importante dans cette offre avec une part de 83%, une énergie de 5 580 kTep. La biomasse source d'énergie est ici constituée par les bois énergies, les déchets agricoles, urbains, industriels, ... Le bois énergie fournit presque la totalité de cette part énergétique de la biomasse. Les ressources proviennent notamment des forêts denses humides et sèches, des plantations d'eucalyptus hors forêt fermée, des mangroves, des fourrés (Min. Energie, 2014).

Les hydrocarbures tiennent la seconde place après la biomasse dans la source énergétique du pays en assurant une part de 11%, soit 732 kTep en 2015. Cette ressource est entièrement importée, soit une quantité totale de plus de 1 million m³ en 2017 dont environ 60% est du gasoil. Le charbon minéral fournit une puissance totale de 305.3kTep en 2015 et dont l'importation est assurée généralement par la société utilisatrice.

La faible part de la source hydroénergie est due au fait que le pays ne valorise en énergie qu'environ 150 MW de sites hydroélectriques sur les 7 500MW disponibles. La part de cette source d'énergie dans l'offre énergétique du pays augmenterait à moyen termes en considérant les différents

³ <http://www.fao.org/docrep/V8260B/V8260B12.htm>

⁴ Lettre de Nouvelle Politique de l'Energie de Madagascar 2015-2030

investissements prévus pour la construction de plusieurs centrales hydroélectriques : Mahitsy, Sahofika, Volobe, Antetazambato et la réhabilitation de certains sites hydroélectriques comme Ranomafana, d'Andekaleka, d'Antafofobe.

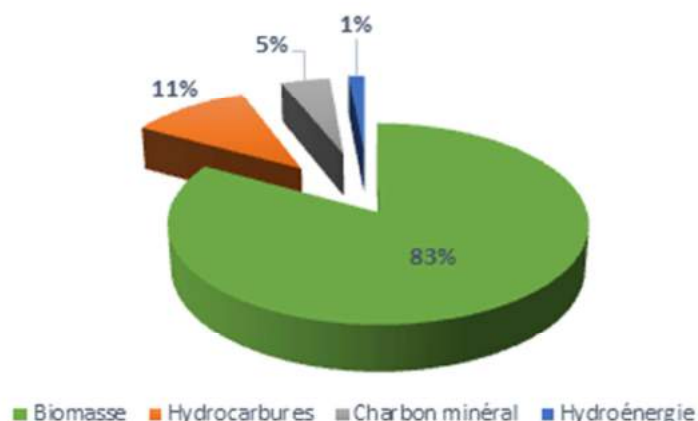


Figure 2 : Répartition des différentes sources d'énergie à Madagascar (Source : Statistique JIRAMA/ADER/ORE, 2016 ; AIDES, 2018)

2.2.2 Faible contribution de la biomasse dans la fourniture d'électricité du pays

La production d'électricité du pays est assurée par les hydrocarbures et les sources renouvelables telle que le solaire, l'éolien, l'hydraulique et la biomasse. La statistique au niveau de la société nationale d'électricité Jirama et de l'ADER montre une offre totale en électricité d'une puissance disponible d'environ 500MW, en 2017. En grande partie, cette offre est constituée à hauteur de 67% de centrales thermiques.

Pour les énergies renouvelables, l'hydraulique fournit la grande partie : une part de 29% dans l'offre totale en électricité, soit une puissance d'environ 154MW. Le solaire, la biomasse et l'éolienne participent avec une faible part : 4% pour le solaire et moins de 1% pour la biomasse et l'éolienne.

Dans les initiatives d'amélioration en cours, l'hybridation de certaines centrales de la Jirama avec la source solaire, le développement de parcs solaires, comme le cas d'Ambatolampy de 20MW promeut une tendance croissante de la part des énergies renouvelables dans la fourniture d'électricité du pays à moyen terme.

En matière de distribution, environ 99% de l'offre en électricité est fournie par le réseau de transport de la société Jirama alimentant des grandes villes.

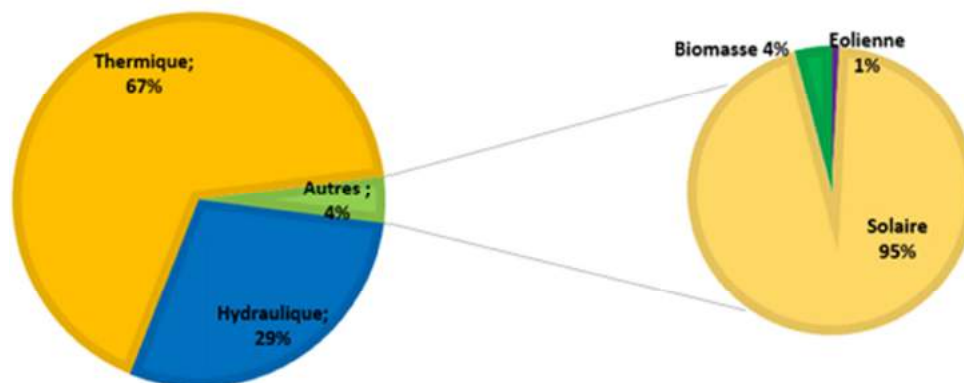


Figure 3 : Part de chaque source d'énergie dans la fourniture d'électricité au niveau national (Source : ORE, 2017)

2.2.3 Panorama des filières biomasse énergie

A Madagascar, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques est généralement segmentée entre la cuisson au niveau des ménages, l'électricité au niveau des ménages et des industries, et le transport.

On constate la prédominance de la valorisation de la biomasse en tant que bois-énergie (le bois de chauffe et charbon de bois) pour la cuisson au niveau des ménages. En effet, le bois de chauffe est la source principale d'énergie de cuisson de la population en milieu rural, tandis que le charbon de bois est celle des ménages urbains. Les ressources de bois énergie proviennent généralement de 3 sources : les plantations forestières paysannes, l'exploitation des formations naturelles, les plantations industrielles (WWF, 2012). De 1995 à 2015, la consommation de cette ressource est passée de 1 782 kTep à 2 595.24 kTep (Ministère Energie, 2015). Plus de 98% des ménages malgaches utilisent le bois énergie sous forme de bois (bûches) ou de charbon de bois.

Les déchets urbains pour les grandes villes telles qu'Antananarivo restent généralement sous-exploités. Néanmoins, des projets de recyclage de déchets vert et ligneux sont observés. Ce sont le cas de la ville de Mahajanga/Région Boeny avec la société Madacompost et celui d'Antananarivo avec la société Satsimami, qui produisent des briquettes combustibles comme substitut de charbons de bois.

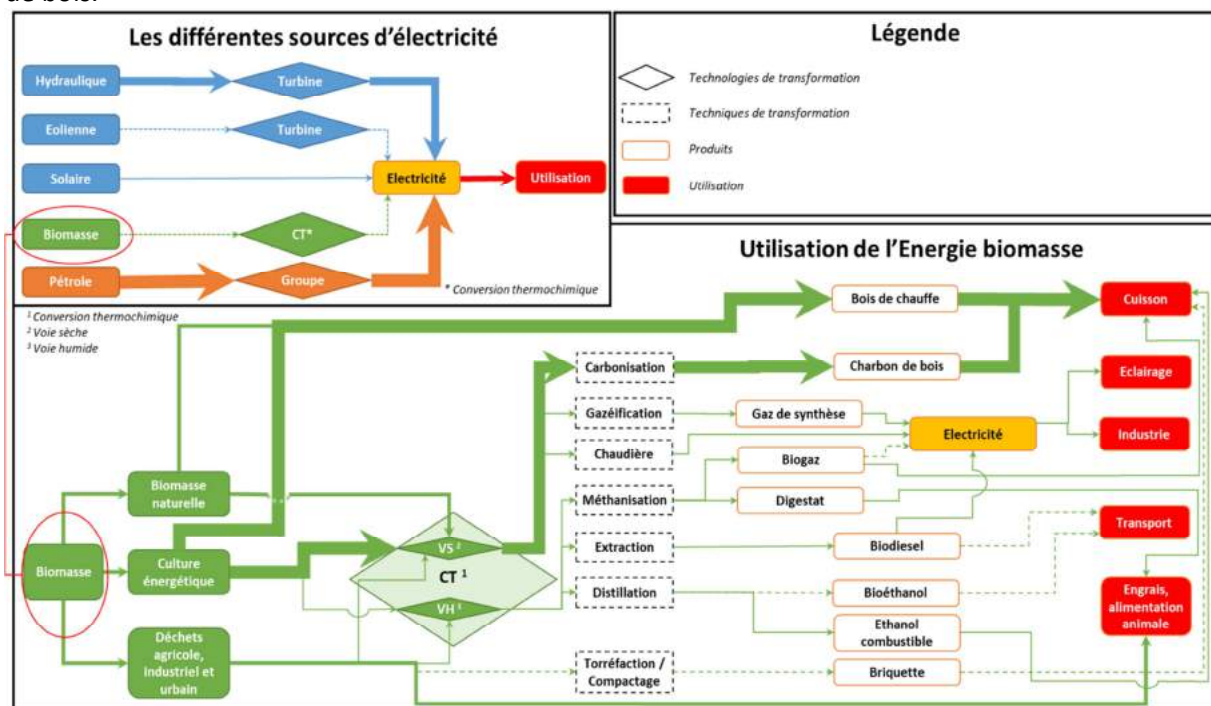


Figure 4 : Cartographie sommaire de la chaîne de valeur de la valorisation de la biomasse à Madagascar

La valorisation de la biomasse pour la production d'électricité est encore peu développée par rapport au bois-énergie. Trois grands types de biomasses lignocellulosiques sont potentiellement valorisables en électricité : la biomasse forestière ; les résidus de scierie ; les résidus agricoles primaires et secondaires. A Madagascar, quelques unités de production d'électricité utilisent ces biomasses à travers la technologie de conversion thermochimique par voie sèche (gazéification, cogénération). Les initiatives dans ce domaine sont essentiellement décentralisées, à proximité des zones de concentration de ces ressources, en fonction de leur disponibilité.

2.2.4 Valorisation de bioélectricité plutôt vers l'électrification rurale

L'utilisation de la biomasse dans la fourniture d'électricité est plus développée en milieux ruraux et aucune centrale à biomasse n'approvisionne en électricité le réseau.

Le domaine de l'électrification rurale est le domaine auquel les sources d'énergie renouvelables participent avec une part plus importante, ceci est dû au fait que dans ce domaine, il est possible de mettre en place des installations à petite ou moyenne échelle en fonction de la disponibilité des ressources. En plus, l'électrification décentralisée est favorisée dans la stratégie de développement de l'électrification rurale à Madagascar.

Concernant la source hydraulique, les petites centrales hydroélectriques exploitées par des concessionnaires ou des détenteurs d'autorisation produisent des puissances allant de 5kW jusqu'à environ 90kW. L'ensemble de ces centrales hydrauliques fournissent une puissance disponible dans l'ordre de 980kW, soit une part de 33% de l'électrification rurale. Les centrales à thermiques fonctionnant avec du gasoil fournissent une puissance d'environ 1MW pour l'électrification rurale.

Pour la biomasse, des centrales à biomasse sont exploitées par des détenteurs d'autorisation en collaboration avec l'ADER dans le cadre de l'électrification rurale. Selon les statistiques, de 2009 à 2014, 7 centrales fonctionnant avec de la biomasse ont obtenu les autorisations de l'autorité compétente avec une puissance disponible estimée à environ 800kW. Cependant en 2017, 4 sites parmi ces 7 étaient fonctionnels pour une puissance de 164kW, soit une modeste part de 6% dans l'électrification rurale. Récemment, des contraintes techniques ont conduit certaines de ces centrales à arrêter temporairement la distribution d'électricité. Les facteurs d'échecs seront abordés ultérieurement. Installées dans des zones qui disposent des ressources potentielles nécessaires, les bois et les balles de riz sont les biomasses utilisées par les centrales à biomasse en marche actuellement.

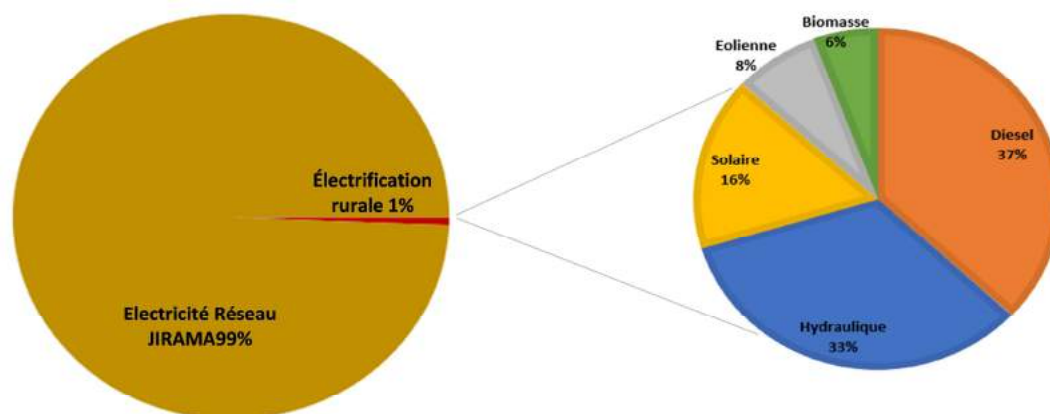


Figure 5 : Les sources d'énergie en électrification rurale (Source : ORE, 2017)

2.3 Les cadres réglementaires impliqués dans la filière biomasse

Il n'y a pas de cadre juridique dédié spécialement à la filière biomasse à Madagascar sauf pour le bois. Néanmoins, son exploitation, c'est-à-dire de la production de biomasse à sa transformation (valorisation) implique un certain nombre de textes qui concernent le secteur de l'électricité, l'exploitation de la biomasse ligneuse (forêt), le reboisement et l'assainissement.

2.3.1 L'Office de Régulation de l'Electricité

Dans le cadre de la nouvelle politique économique, le Gouvernement malagasy a mis en œuvre la réforme du Secteur de l'Energie électrique, par la loi n°98-032 du 20 Janvier 1999. Cette réforme a eu pour but de donner à des opérateurs privés la possibilité d'opérer au sein du secteur afin de relayer l'Etat malgache dans le financement des infrastructures électriques du pays d'une part, et d'autre part, de promouvoir l'efficacité et la qualité du service offert aux usagers par le jeu de la concurrence. Par ailleurs, la sécurisation des investissements réalisés au sein du secteur constitue l'une des innovations majeures apportées par la Loi, par :

- le biais de l'instauration d'un régime transparent et non-discriminatoire de l'octroi d'Autorisations et de Concessions par voie d'Appels d'Offres,
- la reconnaissance du statut de propriétaire des installations aux Permissionnaires ou Concessionnaires,
- la réglementation rigoureuse de l'élaboration des tarifs de vente d'électricité.

Un organe de régulation du secteur électricité, dénommé « Office de Régulation de l'Electricité, (ORE) » a été institué. Il est composé de deux organes : le Conseil de l'Electricité (CE), organe de décision et le Secrétariat Exécutif (SE) organe administratif et technique. Les principales missions de l'ORE consistent à :

- déterminer, publier et surveiller les prix d'électricité
- veiller au respect des normes de qualité de service
- contrôler et à faire respecter une saine concurrence.

2.3.2 L'ADER

L'Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER) est un établissement public à caractère administratif (EPA) créé en 2002, placé sous la tutelle technique du Ministre chargé de l'Energie. L'ADER a pour mission de mettre en œuvre la politique du sous-secteur électricité en milieu rural. A ce titre, elle assure :

- la promotion de la fourniture de service électricité en milieu rural;
- la supervision et le financement les projets d'électrification rurale;
- le suivi des activités relatives à l'électrification rurale dans tous ses aspects économiques, statistiques et techniques;
- l'appui et le soutien des initiatives de développement rural et le bon fonctionnement des services sociaux de base ruraux.

2.3.3 Le code de l'électricité

La Nouvelle Politique Energétique de Madagascar a fixé des objectifs chiffrés à atteindre en 2030 suivants, en matière d'accès de la population en électricité ainsi que sur les ressources à utiliser :

- Permettre aux 70% des ménages malgaches d'accéder à l'électricité ou à l'éclairage moderne
- Augmenter de 85% l'énergie issue des ressources renouvelables, dont l'hydroélectricité, à hauteur de 75%, le solaire à 5%, l'éolien à 5%, la thermique complétera à 15%. Pour les mini-réseaux des exploitations relativement moins importantes, le mix sera composé au moins à moitié d'énergie de sources renouvelables (hydroélectricité, biogaz, solaire, éolien) et d'autres énergies y compris l'énergie thermique pour l'autre moitié au plus.

La NPE n'a pas spécifiquement parlé de biomasse au même titre que l'hydroélectricité, le biogaz, le solaire et l'éolien, néanmoins, le politique s'est ouvertement orientée vers la valorisation des sources d'énergie renouvelable.

Par ailleurs, le secteur électricité est désormais régi par une nouvelle loi, la **Loi 026-2017 du 27 Septembre 2017 portant Code de l'électricité à Madagascar**. Le Code donne également, une place importante aux énergies renouvelables et il montre les différentes mesures prises pour permettre à d'éventuels opérateurs d'intervenir dans le secteur en ayant recours aux énergies renouvelables.

Les activités prévues dans le secteur électricité sont inscrites aux articles 4 et 6 :

- Article 04 : Les activités de Production, de Transport, de Distribution et de fourniture d'énergie électrique s'exercent dans les conditions prévues par la présente loi, sous l'autorité du Ministre en charge de l'énergie et de l'Agence de régulation de l'électricité (ARELEC ou l'ORE) dont les compétences respectives sont déterminées par la présente loi et les textes pris pour son application.
- Article 06 : Toute personne souhaitant exercer des activités de Production doit au préalable selon le niveau de puissance installée envisagé, obtenir soit une Autorisation, soit une Concession ou le cas échéant faire une Déclaration préalable.

En ce qui concerne la valorisation de la biomasse en électricité, le code de l'électricité prévoit 2 possibilités :

- Production et distribution (vente) d'électricité : les promoteurs doivent suivre une procédure d'un appel d'offre qui aboutit selon le niveau de puissance de l'unité à l'établissement d'un contrat d'autorisation ou d'un contrat de concession. Le texte n'a pas prévu le régime de la déclaration pour la biomasse.

Tableau 2. Les régimes appliqués pour les centrales à biomasse en ERD

	Production	Distribution
Autorisation	$P \leq 5 \text{ MW}$	$P \leq 5 \text{ MW}$
Concession	$5 \text{ MW} \leq P$	$P \geq 5 \text{ MW}$

- Régime de l'autoprodacteur : un autoprodacteur est toute personne physique ou morale de droit public ou privé, dont l'activité principale n'est pas de produire de l'électricité mais qui dispose d'Installations de Production d'électricité pour la satisfaction de ses besoins propres totaux ou partiels. Selon le niveau de puissance de l'unité, l'autoprodacteur se soumet au régime de déclaration ou d'une autorisation d'autoproduction. L'autoprodacteur devra alors consommer 60% de sa production et pourra vendre les 40% restants.

Tableau 3. Les régimes appliqués en autoproduction pour les centrales à biomasse

	Production
Déclaration	$P \leq 1 \text{ MW}$
Autorisation d'autoproduction	$1 \text{ MW} \leq P$

2.3.4 Dispositions fiscales et douanières pour le secteur de la bioélectricité

Les importations d'équipements destinées à la valorisation de la biomasse en électricité ne bénéficient que partiellement de dispositions douanières incitatives à Madagascar.

Généralement, les importations sont frappées de Droit de douane de 5 à 10% et d'un TVA de 20%. Néanmoins, l'Accord de Partenariat Economique avec l'Union Européenne permet aux équipements importés d'Europe d'être exonérés de droit de douane. (Source : tarif des douanes, 2017)

2.3.5 L'exploitation des ressources forestières ligneuses

Madagascar a élaboré plusieurs textes juridiques régissant l'exploitation des forêts dont deux (2) peuvent concerner directement la filière biomasse en ce qui concerne le prélèvement et la valorisation de la biomasse ligneuse. Actuellement, la biomasse ligneuse est valorisée surtout dans le domaine du bois de construction, du bois d'œuvre ainsi que dans son utilisation en tant que combustible pour la cuisson (bois de chauffe et charbon de bois).

Loi n° 97-017 du 8 août 1997 portant révision de la législation forestière concerne le régime juridique forestier et toutes les dispositions réglementaires qui régissent les domaines forestiers nationaux.

La loi a défini différents modes de prélèvement des ressources forestières, notamment par l'exploitation, les permis de coupe et les droits d'usage.

- Exploitation par permis ou convention : attribution par voie adjudication ou appel d'offre
- Exploitation par permis de coupe : les conditions d'exercice ne sont pas précisées
- Exercice des droits d'usage : les droits d'usage sont exercés en vue d'assurer les activités traditionnelles par collecte des produits forestiers « secondaires »
- Gestion Contractualisée des forêts en vue du droit d'usage
- Gestion Contractualisée des forêts en vue d'une valorisation économique

Cette loi a permis de classer également les forêts malgaches en 4 catégories :

- Les forêts de l'Etat
- Les forêts des collectivités décentralisées
- Les forêts des Etablissements publics
- Les forêts des personnes après décision du Ministère chargé des forêts

Décret 98-782 du 16 septembre 1998 relatif au régime de l'exploitation forestière

Ce texte concerne les modalités d'exploitation et de valorisation des ressources forestières suivant leurs statuts juridiques. Pour les forêts de l'Etat, l'exploitation peut être menée en régie, par permis, par convention ou dans le cadre de contrat de gestion. Quant aux forêts des Collectivités Territoriales Décentralisées, l'exploitation se fait sur la base d'un plan d'aménagement par régie, ou par délégation à des exploitants agréés dans le cadre d'une convention d'exploitation, ou permis d'exploitation, permis de coupe, permis de collecte ou dans le cadre d'un contrat de transfert de gestion aux communautés rurales. L'exploitation des forêts privées nécessite l'avis préalable et l'autorisation du représentant de l'administration chargé des forêts. L'exploitation d'une forêt privée ne peut être assurée par une personne autre que son propriétaire que celle-ci a été préalablement agréée à l'exploitation forestière. L'administration chargée des forêts peut suspendre cette exploitation lorsqu'elle est de nature à porter atteinte à l'environnement.

L'exploitation par permis :

Le permis d'exploitation est une autorisation administrative accordée à un exploitant en vue de prélever dans la forêt ou la parcelle forestière faisant l'objet du permis, un volume de bois déterminé pour approvisionner le marché national ou d'exportation. Les permis de coupe peuvent être accordés par le représentant régional du ministère chargé des Forêts à des particuliers.

De l'exploitation par convention :

Selon l'article 24, les conventions d'exploitation ne peuvent être passées qu'avec des personnes physiques ou des personnes morales, publiques ou privées, préalablement agréés par l'Etat ou la

Collectivité Territoriale Décentralisée, dont la forêt ou la parcelle forestière fait l'objet de la convention. Les conventions d'exploitation confèrent au concessionnaire le droit de prélever dans une forêt ou une parcelle forestière, un volume de ressources forestières pour approvisionner le marché national ou d'exportation. La quantité de ressources pouvant être prélevées est fixées annuellement.

De l'exploitation dans le cadre de contrat de gestion :

Selon l'article 31, les contrats de gestion passés avec les communautés villageoises obéissent au régime de la Loi n°96-025 du 30 Septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources renouvelables. Le contrat de gestion ou le cahier des charges qui lui est annexé définit le plan d'aménagement de la forêt et les règles d'exploitation. La communauté gestionnaire peut, dans le respect du plan d'aménagement et des règles d'exploitation, soit assurer directement l'exploitation forestière, soit la confier en totalité ou en partie et pour une période déterminée à un exploitant forestier agréé.

2.3.6 Le texte sur le reboisement

Le Décret 2000-383 du 07 juin 2000 relatif au reboisement définit :

- *Reboisement* : toute plantation d'arbres forestiers ou non suivant les normes techniques en la matière en vue de la constitution ou de la reconstitution d'une forêt telle que celle-ci est définie par les articles 1.2.3 et 4 de la Loi n°97-017 du 08 Août 1997 portant révision de la législation forestière.
- *Opérateur de reboisement* : toute personne morale ou physique qui entreprend une activité dans le domaine du reboisement à but lucratif ou non
- *Réserves foncières pour le reboisement* : zones ou terrains délimités par l'Administration forestière et l'Administration domaniale destinés au reboisement, tels que :
 - o les terrains domaniaux
 - o les périmètres de reboisement
 - o le domaine forestier national
 - o les anciennes zones d'action en faveur de l'arbre (zodafarb).

Les reboisements sont classés en cinq catégories principales :

- le reboisement industriel: bois de service, bois d'énergie, bois d'œuvre, bois de pâte;
- le reboisement de protection et de restauration écologique, comme la protection de dunes, de bassins versants ; restauration de sols, enrichissement de forêts naturelles ;
- le reboisement à caractère social notamment pour l'éducation, la récréation, l'ornementation ;
- le reboisement à vocation d'essai, étude ou de recherche tel que les dispositifs comparatifs d'espèces ou de provenances ;
- le reboisement économique à but agro-sylvo-pastoral.

Le texte sur le reboisement prévoit des mesures incitatives en matière de reboisement qui consiste à octroyer aux opérateurs de reboisement et pépiniéristes des avantages en nature et des avantages financiers. Les avantages en nature consistent en des incitations foncières et en des incitations techniques.

Ainsi, la réglementation n'a pas envisagé concrètement le reboisement à vocation énergétique. Un seul cas de reboisement dédié pour alimenter une centrale à biomasse est recensé à Madagascar (Adaingo). Néanmoins, l'objectif de l'exploitation a été détourné à d'autres fins : charbon de bois, bois de chauffe, bois d'œuvre après quelques années.

2.3.7 Le cadre réglementaire sur la collecte et le traitement des déchets

Madagascar ne dispose pas de textes particuliers concernant la collecte et le traitement des déchets. Le domaine de l'Assainissement ne dispose pas de cadre juridique propre, mais ce sont des textes épars qui réglementent certains aspects de l'Assainissement. Ainsi, aucune réglementation n'oriente la population en ce qui concerne le triage, la valorisation, le recyclage et l'élimination des déchets en général, sauf pour les déchets dangereux⁵ (corrosif, toxique, caustique, explosif, radioactif, oxydant, infectieux, cancérigène ou tératogène).

- Néanmoins, la collecte de déchets urbains est réglementée notamment pour les grandes villes de Madagascar. Actuellement, plusieurs modèles de gestion sont observés pour la collecte de ces déchets urbains : la gestion par un service autonome (cas de la capitale Antananarivo), la gestion déléguée, la gestion en régie directe, la gestion minimaliste et le modèle sans structure de gestion.
- En ce qui concerne les déchets industriels, ceux issus des grandes exploitations agricoles, des travaux de construction, le décret 99-954 du 15 Décembre 1999 relatif à la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement, impose la réalisation par l'investisseur d'une Etude d'Impact Environnemental et Social. Ceci inclut l'identification et le recensement des sources de pollution générées par l'activité industrielle dont les déchets et les mesures à prendre pour les éliminer ou atténuer leurs effets sur la population et l'environnement. La mise en œuvre d'un projet d'investissement est alors soumise à l'obtention d'un permis environnemental (suite à une évaluation de l'EIE favorable) assorti d'un cahier de charge environnemental (plan de gestion environnemental) que l'investisseur doit respecter.
- En ce qui concerne les déchets agricoles issus des petites et moyennes exploitations agricoles (balles de riz, rafles de maïs, ...), aucune disposition légale ne prend en compte la collecte, le traitement et l'élimination de ces déchets.

⁵ Décret 2012-745 fixant les procédures de gestion des produits en fin de vie, sources de déchets et déchets dangereux nuisibles à l'environnement dans le cadre de la mise en œuvre de la convention de Bâle (contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et de leur élimination).

2.4 Les initiatives et acteurs des filières bioélectricité

2.4.1 Etat des lieux des centrales à biomasse à Madagascar

Selon les statistiques de l'ORE (2017), de 2009 à 2014, 7 centrales ERD à biomasse ont obtenu les autorisations de l'ORE, l'autorité compétente, en collaboration avec l'ADER dans le cadre de l'électrification rurale. La liste de ces centrales est donnée dans le Tableau 4. Il convient toutefois de signaler que (i) deux contrats de concessions ont été résiliés depuis ; (ii) des contraintes techniques ont conduit certaines de ces centrales à arrêter temporairement ou définitivement la distribution d'électricité. Les facteurs d'échecs seront résumés plus bas.

Finalement, toujours selon ces statistiques, seules deux centrales fonctionneraient actuellement (Région Boeny, balle de riz avec ou sans complément de bois). Les centrales référencées fonctionnent essentiellement sur balle de riz ou du bois. Elles reposent sur des procédés de combustion ou de gazéification (voir partie 4).

A ces centrales référencées auprès de l'ORE, s'ajoute un certain nombre de centrales à biomasse qui sont également exploitées pour l'autoconsommation de certaines entreprises (notamment les usines sucrières). Cette liste ne se veut pas exhaustive et certaines informations mériteraient d'être mises à jour.

Tableau 4 : Installations biomasses à Madagascar

Région	Commune	Biomasse	Techno (1)	Puissance installée	Exploitant	Etat de fonctionnement	Statut Contrat
Centrales ERD référencées par l'ADER et connues de l'ORE (2017)							
Alaotra Mangoro	Andaingo	Bois	CMaV	70kW	BETC	Fonctionnelle Distribution suspendue (appro bois)	En contrat
Alaotra Mangoro	Ambohimandroso	Balle de riz	GMDF	400 kW	SAMAN	Fonctionnelle mais exploitation intermittente (pb d'appro)	En contrat
Alaotra Mangoro	Didy	Bois	CTaV	70 kW	SERMAD	Non fonctionnelle pb technique	En contrat
Boeny	Anjajia Centre	Balle de riz	GMDF	34 kW	CASIELEC	Fonctionnelle	En contrat
Boeny	Manerinerina	Bois et Balle de riz	CMaV	70 kW	CASIELEC	Fonctionnelle	En contrat
Alaotra Mangoro	Bejofo	Balle de riz	GMDF	60 kW	BE ²	Fonctionnelle En arrêt	Contrat résilié
Sofia Bealalana	Ambatoriha Est	Balle de riz	GMDF	32kW (100% gaz) 160kW (dual fuel)	SERRUSA	Fonctionnelle En arrêt	Contrat résilié
Autres centrales (ERD ou auto-consommation) non référencées par l'ORE							
Alaotra Mangoro	Ambatondrazaka	?	GMDF		BE ²	Non fonctionnelle	N/A
Sofia	Boriziny – Port Berger	?	GMG		?	Non fonctionnelle	N/A
Haute Matsiatra	Isorana	Balle de riz	GMDF	135 kW	Le Relais	En service (2014)	N/A
Diana	Ambilobe	Bagasse	CTaV	14 MW	Sucoma	En service	N/A
Boeny	Namakia	Bagasse	CTaV	14 MW	Sucoma	En service	N/A

(1) CTaV : Chaudière combustion + Turbine à vapeur ; CMaV : Chaudière combustion + Moteur à vapeur ; GMG : Gazéifieur + Moteur Gaz ; GMDF : Gazéifieur + Moteur Dual Fuel

(2) N/A : ne figure pas dans la liste des autorisations de l'ORE

Commentaires :

- Andaingo
 - o Unité mise en place en Septembre 2012, associée à une unité de sciage et de séchage de bois ;
 - o Approvisionnement en biomasse géré avec la Commune à partir d'un schéma communal d'approvisionnement de biomasse de la centrale (SCABC) et du plan simple de gestion qui garantit une gestion forestière durable : des plantations communales, des plantations communautaires qui se répartissent dans 21 Fokontany ;
 - o Agriculture contractuelle : des VOI spécialisés ont l'autorisation d'approvisionner la centrale, l'exploitant de la centrale achète la biomasse.
 - o Ateliers de formation des acteurs pour accompagner les différents acteurs de la filière d'approvisionnement de la centrale (par le DREEF)
- Anjiajia :
 - o Mis en place en 2009 (5 mois entre commande et livraison)
 - o Collaboration/partenariat avec des organismes partenaires : ADER (Appui institutionnel, technique et financier), Commune rurale Anjiajia (Donation de terrain et appui organisationnel), BIONERR et ANKUR (constructeur d'ERD biomasse)
- Bejofo :
 - o Installée en juin 2010 et fonctionnel en 2011 (et a fonctionné seulement pendant une année)
 - o Approvisionnement de la centrale par deux rizeries (à titre gratuit en dehors des périodes de briqueterie), approvisionnement en fonction de la disponibilité des moyens de transport pour la biomasse

2.4.2 Quelques contraintes et risques liés aux filières de bioélectricité

– Concurrence d'usage des matières premières

Selon les expériences des centrales à biomasse à Madagascar, la concurrence d'usage constitue un facteur qui restreint l'accessibilité aux biomasses. Par exemple, pour les balles de riz, leur disponibilité est modifiée en période sèche en raison de son utilisation dans l'activité de poterie et de fabrication de brique ; tandis que pour les biomasses ligneuses, les filières bois-énergie traditionnelles sont les autres utilisations au niveau des communautés locales.

– La rupture de l'approvisionnement en biomasse

Basé sur les expériences des exploitants des centrales actuelles, le non-respect des engagements de la communauté locale qui sont les fournisseurs de biomasse des centrales constitue également l'une des principales contraintes au bon fonctionnement des centrales à biomasse à Madagascar. L'accord comprend l'autorisation de coupe pour des groupements de la communauté locale avec des critères spécifiques de la biomasse dont la taille, l'âge des plantations et le taux d'humidité du bois. Le manque de suivi auprès de ces fournisseurs locaux a favorisé le non-respect des critères prédéfinis de la biomasse mais également l'usage de l'autorisation de coupe à d'autres fins (bois-énergie ou bois d'œuvre). En outre, la divergence de priorité des différents acteurs locaux concernés (l'autorité au niveau de la Région, la Commune, les représentants du Ministère en charge des forêts , le Ministère en charge de l'Environnement et le Ministère en charge de l'énergie) ainsi que la faille dans la continuité de la collaboration avec ces derniers après remplacement de certaines personnalités, comme le maire, a favorisé la rupture de l'approvisionnement des centrales à biomasse suite au non renouvellement des autorisations de coupe.

– Contrainte technique : la durabilité des matériels

Quelle que soit la technologie de conversion (gazéification ou combustion), les équipements utilisés sont importés (notamment de l'Inde et du Brésil), ce qui a une incidence sur leur durabilité en fonction de la provenance. La faille technique de certains matériels a engendré des coûts de

maintenance supplémentaires importants pour les exploitants ainsi que des délais de remplacement. Par ailleurs, les performances des équipements peuvent se dégrader si la qualité des biomasses fournies n'est pas garantie (taux d'humidité, diamètre...). Par conséquent, pour pallier ces aléas, les exploitants sont obligés de recourir de plus en plus à l'utilisation de groupe thermique (diesel) pour assurer la continuité de la production d'électricité par la centrale.

– Contrainte économique : l'augmentation du coût d'exploitation

Des coûts supplémentaires peuvent être liés à l'évolution du coût d'approvisionnement en biomasse, notamment le prix d'achat et de transport en fonction de leur éloignement. En dépit de l'augmentation des différents coûts liés à l'exploitation des centrales à biomasse par rapport à l'étude de faisabilité au début, le prix unitaire de l'énergie vendue auprès des clients est régi par le contrat de concession attribué au concessionnaire. Selon la réglementation, ce tarif ne peut être changé qu'après 2 ans alors que l'accès aux biomasses est plus sensible aux variations conjoncturelles de prix induites par la concurrence d'usage. Ce contexte réduit ainsi la rentabilité de l'exploitation des centrales à biomasse à Madagascar.

– Décalage entre puissance disponible et puissance installée

Les moteurs auxiliaires comme les ventilateurs de refroidissement des réacteurs, ainsi que les éclairages dans le bâtiment consomment de l'énergie. Pour compenser cette énergie, les opérateurs se tournent vers l'usage de carburant ou utilise le courant produit par la centrale elle-même. Selon l'exploitant de la centrale à biomasse de Manerinerina, plus de la moitié de la puissance produite servirait, selon l'exploitant, à compenser les besoins de la centrale et du personnel y travaillant. Ces besoins doivent être mieux pris en compte pour bien dimensionner l'installation par rapport aux besoins du client, sous peine de ne plus dégager suffisamment de marge bénéficiaire.

– Les nuisances environnementales liées au fonctionnement des centrales à biomasse

L'aspect environnemental et social sont des aspects importants dans l'exploitation des centrales à biomasses, sachant que ces centrales sont généralement installées près des villages et des communautés cibles de l'électrification afin d'optimiser le coût de transport et de distribution de l'électricité. Pour certaines centrales, les fumées générées ont engendré des plaintes venant des gens qui vivent près des centrales par rapport aux effets environnementaux et sanitaires de l'exploitation. Ceci est une des raisons qui ont ralenti la motivation des exploitants dans l'utilisation de la biomasse notamment la biomasse ligneuse.

2.4.3 *Leçons tirées des expériences sur l'exploitation des centrales à biomasses*

La réussite ou l'échec des exploitations des centrales à biomasse peut dépendre des facteurs et des paramètres suivants :

- Fiabilité des données à l'entrée (information de base) pour réaliser l'étude de faisabilité technique et financière ;
- Qualité et viabilité de la collaboration entre les institutions impliqués dans l'exploitation des centrales : l'exploitant, la commune, la communauté et les organisations locales (association, groupement) pour garantir un approvisionnement durable en biomasse. Par exemple : la mobilisation pour le reboisement au niveau des FKT, octroi de terrain (et en même temps une source de recette pour le FKT), incitation par les autorités pour le respect des accords de fourniture de biomasse ;
- La disponibilité (quantité), et le pouvoir calorifique de la matière première à utiliser pour une centrale à biomasse ;
- Rentabilité de la filière d'approvisionnement pour centrale par rapport à la valorisation de la biomasse en d'autres fins, par exemple la biomasse ligneuse pour le charbon de bois ;
- La proximité ou non de la centrale par rapport aux lieux de production de cette biomasse ;
- Qualité des équipements et existence de services après-vente ;

- Compétences de l'équipe exploitant la centrale : technique, finance, commerce combiné avec un appui technique nécessaire pour la maintenance et la maîtrise de la technologie des centrales.

Certains exploitants rencontrés ont émis comme propositions en matière de projet bioélectricité :

- La production de biomasse en régie comme le cas d'un reboisement privé destiné entièrement à alimenter une centrale à biomasse afin de sécuriser l'approvisionnement de la centrale.
- L'utilisation d'une centrale à biomasse sous le régime de l'autoproduction par exemple au niveau d'une industrie (sucrierie, rizerie, menuiserie, etc...). L'approvisionnement de matière première sera en partie ou totalement sécurisé par les déchets de l'usine.
- Sur le plan administratif, l'obtention de l'autorisation est facile pour l'auto-producteur et il pourra ensuite vendre 40% de sa production.

2.4.4 Les acteurs intervenants dans des programmes de reboisement à des fins énergétiques

Entité	Approche
Programme ASA	- Reboisement effectuée dans 27 Communes pour la somme de 9200ha, divisé en 3 projets : ADIAFO/AIM (11 Communes), ARINA/CIRAD (4 Communes) et AFIBERIA/PU (12 Communes) - Création de 240 pépinières en partenariat avec le SNGF répartis sur 5 Districts dont Ankazobe, Anjozorobe, Antananarivo Atsimondrano, Andramasina et Arivonimamo - Formations de 3 500 charbonniers sur la carbonisation améliorée dans 10 Communes sur 6 Districts (Ankazobe, Anjozorobe, Antananarivo Atsimondrano, Andramasina, Arivonimamo et Manjakandriana)
PAGES/GIZ	- Professionnalisation et diffusion de la filière biomasse par le reboisement couplé à la production et commercialisation de foyers améliorés
Tany Meva	- Création ou restauration des espaces forestiers à vocation de séquestration de carbone sous la responsabilité et avec l'engagement des organisations locales et communautaires (OLC) - Reboisement communautaire à grande échelle - Réalisation des projets en partenariat avec des ONG, Organisation internationaux pour le carbone - Financement de projets de reboisement, actuellement sur 5 projets dont la réalisation avoisine les 3 580ha réparties sur 4 Districts (Analamanga, Diana, Menabe, Atsimo Andrefana)
WWF	- Reboisement à vocation énergétique sur 3 000ha dans 6 sites (zones Andapa, Vondrozo, Ivohibe, Fandriana-Marolambo, Tolagnaro) - Sensibilisation et éducation de la population à différents niveaux pour une utilisation rationnelle de l'énergie, quelle que soit sa source - Identification, au niveau des sites d'intervention, zones potentielles pour des activités de reboisement - Établissement d'un plan de reboisement avec les services concernés (Environnement, Forêts et Tourisme, Energie et Mines) - Formation des paysans modèles pour la mise en place et l'entretien des pépinières - Réalisation et mise en œuvre du plan d'aménagement et de gestion des forêts de reboisement - Participation à des événements régionaux, nationaux et internationaux sur les reboisements à but énergétique

3 Maurice

3.1 Eléments de contexte économique

Depuis l'indépendance en 1968, Maurice a évolué d'une économie basée sur l'agriculture (20 % du PIB et 60 % des recettes d'exportation provenaient alors du sucre) à une économie relativement diversifiée et dynamique avec une croissance soutenue portée par l'essor du secteur tertiaire (finances et tourisme) mais aussi plus récemment le développement des télécommunications. L'agriculture ne représente plus que 3% du PIB et 7,5 % de l'emploi total en 2016 (Statistics Mauritius).

La canne à sucre est historiquement la culture largement dominante à Maurice. Depuis la fin des quotas européens de sucre à tarifs garantis, la filière est en grande difficulté en raison d'une perte de compétitivité qui a engendré l'abandon d'une partie des terres notamment par les petits planteurs et une diminution progressive de la production, à raison de 1000 ha/an sur les 5 dernières années. En 2017, la canne à sucre occupe encore 50 000 ha, soit 90% environ des surfaces cultivées et constitue 25 % des revenus du commerce extérieur (Statistics Mauritius). La production de canne à sucre était de l'ordre de 3,7 Mt pour 355 000 t de sucre produit. Pour faire face à cette crise, la filière canne s'est organisée pour diversifier les marchés (sucres spéciaux, production de rhum agricole) et valoriser les sous-produits : la bagasse est déjà utilisée comme combustible dans les quatre centrales électriques mixtes charbon/bagasse de l'île.

3.2 La biomasse dans le contexte énergétique de Maurice

3.2.1 Profil énergétique de Maurice

La consommation d'énergie primaire à Maurice est en 2016 de 1 555 ktep (Statistics Mauritius). Les énergies renouvelables (combustion de bagasse, hydraulique, solaire, éolien...) représentent 15% de la consommation en énergie primaire, le reste étant des ressources d'origine fossile (charbon, produits pétroliers) qui sont importées et dont Maurice reste donc fortement dépendante à ce jour (Figure 6). Sur les dix dernières années, on constate d'une part la diminution progressive de la part de la bagasse dans le mix énergétique, baisse imputable à la baisse de la production de canne à sucre évoquée plus haut, mais aussi la forte augmentation de l'importation de charbon et d'essence.

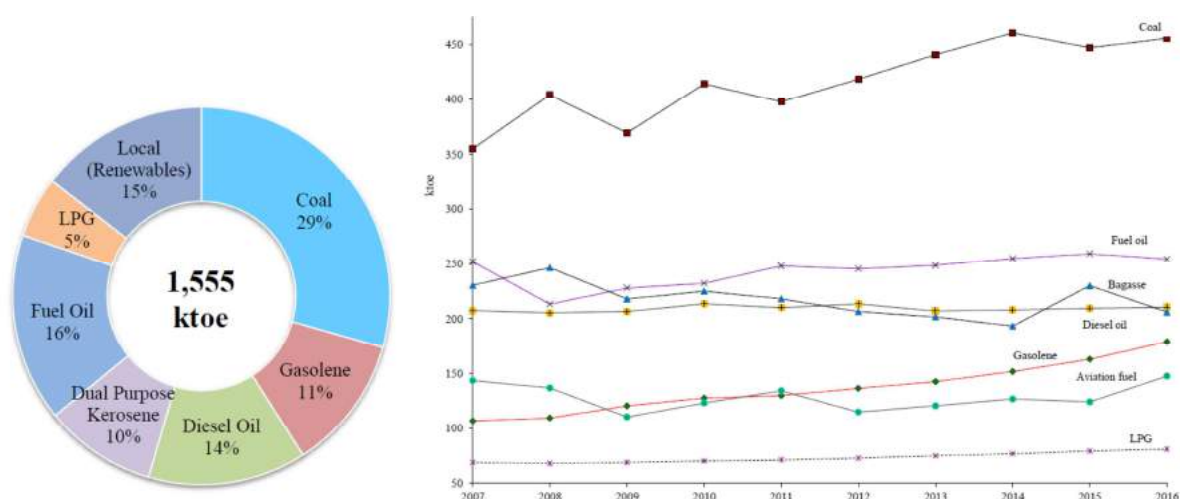


Figure 6: Consommation en énergie primaire à Maurice en 2016 (gauche) et depuis 2007 (droite) - source : Statistics Mauritius

3.2.2 La production d'électricité à Maurice

Comme illustré sur la Figure 7, la production totale d'électricité a nettement augmenté entre 2007 (2464 GWh) et 2016 (3042 GWh), conséquence de la croissance démographique et économique.

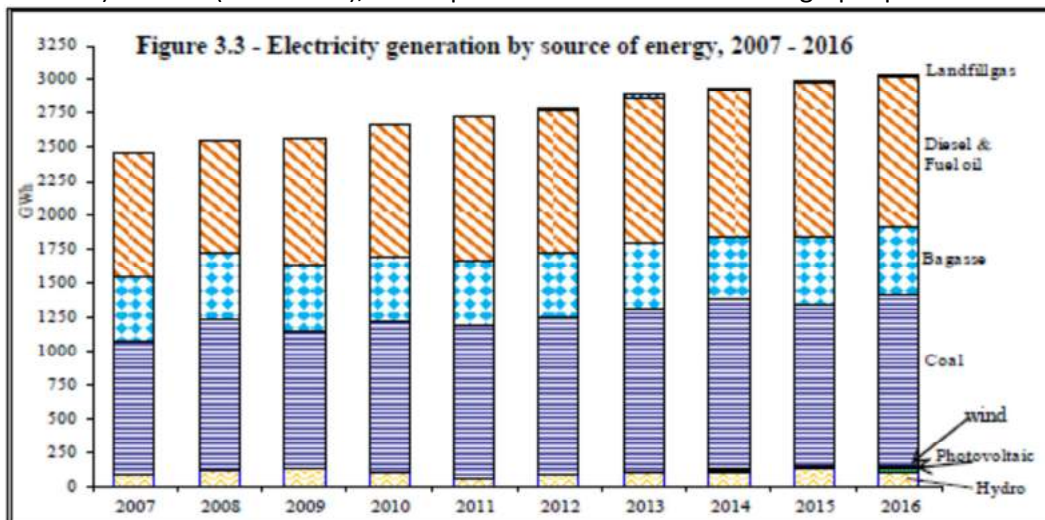


Figure 7: Production électrique renouvelable vs fossile (source : Statistics Mauritius, 2017)

L'essentiel de l'électricité est à ce jour produit à partir de fioul lourd et de charbon + bagasse durant les campagnes sucrières. Les derniers chiffres de 2017 (Figure 8) indiquent qu'environ 489 GWh de production électrique était d'origine renouvelable, soit environ 17,3% de la production électrique totale. Cette part renouvelable est constituée principalement de la bagasse (330 GWh) et de l'énergie hydroélectrique, et plus marginalement du photovoltaïque et de l'énergie éolienne.

L'intégralité de la bagasse est valorisée dans

- 3 centrales mixtes charbon/bagasse liées à des usines sucrières : Savannah (Omnicanne) dans le sud, Union Flacq (FUEL-Altéo) à l'est, Belle Vue (Terragen) dans le nord, pour une puissance installée totale de 200 MW.
- une petite centrale bagasse à Médine (Ouest) – 10 MW.

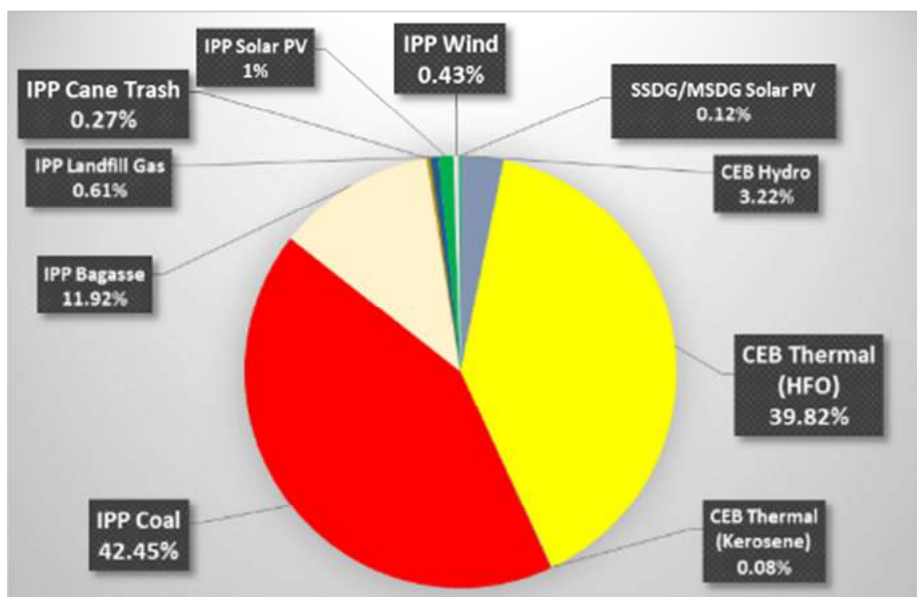


Figure 8: Mix électrique à Maurice en 2017 (source : Statistics Mauritius)

3.3 Gouvernance et cadre réglementaire concernant la bioélectricité

3.3.1 Gouvernance de Maurice en matière d'énergie

Le **Ministère de l'Énergie et des services publics** (MEPU) est responsable de la politique énergétique. Son portefeuille comprend l'énergie, l'eau et les eaux usées. Il est responsable de la politique et de la stratégie d'élaboration du secteur de l'électricité.

Le **Central Electricity Board** est responsable de la production, du transport et de la distribution d'électricité à Maurice et dans les îles périphériques. Il produit environ 42% des besoins en électricité du pays à partir de ses 4 centrales thermiques, 4,4% à partir de centrales hydroélectriques. Les 53,6% restants sont achetés auprès de Producteurs indépendants d'électricité, principalement des producteurs de sucre, qui produisent de l'électricité à partir de bagasse / charbon. En vertu de la loi de 1964 sur le CEB, le Central Electricity Board est à la fois le régulateur et le service public.

Le **ministère de l'Environnement** est responsable des normes, politiques et lois environnementales. La loi sur la protection de l'environnement et ses règlements fournissent un cadre institutionnel et législatif pour la gestion et la protection de l'environnement. Cette législation est généralement basée sur les normes européennes et les révisions sont faites si besoin.

L'**URA (Utility Regulatory Authority)** a été mis en place en 2016 conformément à la loi de 2004 sur la réglementation des services publics. Ses objectifs consistent à

- assurer la durabilité et la viabilité des services publics;
- protéger les intérêts des clients existants et futurs;
- promouvoir l'efficacité à la fois des opérations et des investissements en capital en ce qui concerne les services publics; et
- promouvoir la concurrence pour prévenir les pratiques déloyales et anticoncurrentielles dans le secteur des services publics

Les services d'électricité tels que la production, le transport, la distribution et la fourniture d'électricité seront régis par la loi de 2005 sur l'électricité (Electricity Act), qui n'a pas encore été proclamée. Le périmètre d'action de l'URA et la répartition des compétences avec le CEB sont en cours de clarification. Au cours du séminaire FEXTE (voir plus bas), une unité pour l'octroi des licences a été annoncée et une réflexion est lancée quant à la manière de traiter au mieux les plaintes et le règlement des différends.

La **MARENA** (Mauritius Renewable Energy Agency) est une organisation créée pour superviser et promouvoir le développement des énergies renouvelables à Maurice. Elle est en cours de mise en place, sans réelle visibilité à ce jour quant à son rôle, son fonctionnement et son mode de financement.

3.3.2 Long-Term Energy Strategy (LTES) - en cours de révision

Le Long-Term Energy Strategy (LTES) préparé sous l'égide du MEPU en 2009 définit pour la période 2009-2025 les orientations et priorités en termes de politique énergétique. Outre le programme relatif à l'efficacité énergétique, le développement des énergies renouvelables (biomasse, éolien, photovoltaïque) figure parmi les priorités du plan.

L'objectif global fixé par la LTES est d'atteindre un taux de 35% d'EnR dans le mix électrique d'ici 2025, dont 17% à partir de bagasse. Cet objectif a été repris dans le Plan 2012-2022 du CEB.

La LTES 2009-2025 est en cours de révision avec une feuille de route sur les énergies renouvelables qui est en cours de finalisation. Elle fixera de nouveaux objectifs en termes de taux d'intégration de filières renouvelables dans le mix électrique, parmi lesquelles figure la bioélectricité, ainsi que les orientations stratégiques.

3.4 Initiatives et acteurs en lien avec les filières de bioélectricité

3.4.1 Les principaux acteurs

- MEPU : ministère de tutelle porteur de la politique énergétique et de la vision à long terme (plan 2009 2025)
- Ministry of Agro Industry and Food Security : ministère de tutelle porteur de la politique de l'agriculture et de la sécurité alimentaire
- CEB : entreprise historique, investi de la mission de porter le service public de l'électricité et de proposer les éléments d'arbitrage économique en l'absence de régulateur
- MARENA : organisation pour la promotion des ENR en cours de mise en place
- URA : régulateur en cours de mise en place
- Industrie de la canne : 4 entités industrielles, MCIA (Mauritius Cane Industry Authority), MSIRI (Mauritius Sugarcane Industry Research Institute)
- Business Mauritius : secteur privé actif et innovant

3.4.2 De nouveaux itinéraires techniques en canne à sucre

Des études sont en cours au MSIRI (et au CIRAD à La Réunion) pour augmenter la teneur en fibre des variétés de canne à sucre (canne mixtes et canne énergie). Deux variétés de canne mixte, soit la M 1672/90 du MSIRI et la R 585 d'eRcane sont déjà cultivées localement ; pour la canne énergie, les variétés telles que les WI 79/460 et WI 79/461 pourraient être exploitées. De nouvelles variétés prometteuses pour ces objectifs seront disponibles commercialement dans 3 ou 4 ans.

TERRAGEN mène depuis 2014 des essais de collecte et valorisation énergétique de la paille, en coopération notamment avec le MSIRI et le CIRAD (projet Paille en Canne). Ils ont permis de tester de nouveaux moyens logistiques de ramassage jusqu'à l'alimentation en chaudière (production de 4 GWh en 2016 et 7,5 GWh en 2017).

Actuellement le projet Paille-en-Canne est en attente de l'aboutissement des discussions en cours avec le CEB et le MEPU afin d'aboutir à une formule tarifaire convenant à toutes les parties.

3.4.3 FEXTE

Une Convention de Partenariat FEXTE (Fonds Français d'Expertise Technique et d'Echanges d'Expériences) tripartite a été signée entre le MEPU, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME - France) et l'Agence Française de Développement (AFD). Ce partenariat vise à renforcer le dialogue entre acteurs français, réunionnais et mauriciens dans le domaine du déploiement des énergies renouvelables en zones non interconnectées et notamment en milieu insulaire.

Deux séminaires regroupant une cinquantaine de participants de deux îles, décisionnaires, experts, industriels, issus des secteurs public et privé, se sont déroulés du 27 au 29 novembre 2017 à la Réunion, puis les 5 et 6 juillet à Maurice. Organisés en collaboration avec l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, le Ministère de l'Energie et des Services Publics de la République de Maurice (MEPU) et l'Agence Française de Développement, ces séminaires avaient pour objectifs spécifiques de :

- impulser un groupe de travail mauricien public-privé sur les bioénergies ;
- disposer des éléments d'élaboration d'un objectif chiffré de déploiement de plus de biomasse à Maurice notamment via le secteur sucrier ;
- proposer des axes de politiques publiques à mettre en œuvre pour favoriser le déploiement de la bioélectricité notamment via le secteur sucrier et les petits planteurs ;

- faciliter les partenariats entre Maurice et la Réunion (partage de bonnes pratiques, filière régionale, R&D...) et identifier les études à mener.

De façon non exhaustive, les points suivants sont ressortis (source CR du séminaire) :

- Constat de la chute du rôle de la bagasse dans le mix énergétique (12% du mix en 2017 contre 13,5% en 2014). Le gouvernement mauricien souhaite une réflexion approfondie sur l'avenir de l'industrie de la canne à sucre à Maurice, avec une stratégie et un cadre réglementaire adaptés si nécessaire.
- Etant donnés les objectifs actuels de Maurice d'arriver à 35% d'ENR en 2025, le gouvernement réfléchit à différents scénarios pour 2030, avec 40%, 50% ou 60% d'ENR dans le mix. D'après les calculs du ministère⁶, les besoins pourraient passer de 462,5 MW et 2849 GWh en 2017, à 599 MW et 3497 GWh en 2030, d'où un besoin de capacités d'environ 850 GWh.
- Un appel d'offre est en cours pour la construction d'une unité de production de 15 MW à partir de biomasse.
- Les réflexions sont encore en cours sur le modèle de régulation nécessaire à Maurice et le choix des théories économiques sous-jacentes. L'URA présentera bientôt le résultat de ses réflexions, qui seront discutées avec tous les acteurs.
- Il apparaît nécessaire de clarifier rapidement la trajectoire de la transition énergétique à Maurice et de la loi encadrant le secteur, qui permettra l'opérationnalisation du MARENA et de l'URA.
- Les dispositifs de soutien aux renouvelables doivent être clarifiés, notamment ceux liés aux investissements, aux prêts et aux tarifs d'achat.

Une étude a par ailleurs été financée sur le fond FEXTE. Menée par le CIRAD et le MSIRI, elle visait à évaluer les ressources en biomasse mobilisables à Maurice. L'équipe a fourni dans ce rapport des pistes pour sécuriser la production de sucre d'une part et d'autre part pour augmenter celle de la bioélectricité par la culture de la canne elle-même et d'autres biomasses potentielles (notamment eucalyptus)

Des données issues du MSIRI ont été compilées, mises à jour et analysées pour éditer des cartes de productivité cannière. L'analyse cartographique de la productivité en canne a permis d'identifier 5 000 à 6 000 ha de faible productivité qui pourraient être converties à des fins énergétiques.

La biomasse mobilisable est avant tout la canne à sucre via l'utilisation de la bagasse et de la paille, mais aussi potentiellement des cultures énergétiques (eucalyptus).

Le potentiel d'exploiter 100 000 t de paille dans le futur semble réaliste car les technologies de collecte, de transport et de transformation de la paille de canne comme combustible pour les centrales thermiques à bagasse sont maîtrisées.

En fonction des types de canne, un arbitrage doit être fait entre le taux de sucre (pour la production sucrière) et le taux de fibre (pour la production énergétique). La « canne énergie » pourrait être un bon substitut dans les zones où le rendement de la « canne sucre » n'est pas suffisant. Le potentiel énergétique pourrait être de 341 GWh en 2028.

Les chercheurs tirent trois conclusions de leur étude :

- Il existe un potentiel pour augmenter la production de canne à sucre
- La « canne énergie » est une alternative crédible à la canne à sucre en matière de rendement
- La plantation de « canne énergie » peut se faire sans baisser la production de sucre

⁶ Dr. Soonarane, source CR du séminaire

4 La Réunion

4.1 Eléments de contexte environnemental et économique

L'économie se caractérise par une forte tertiarisation, les services non marchands restent encore prépondérants avec une surreprésentation des fonctions d'administration, d'enseignement et de santé. Du fait de sa situation insulaire et de son emplacement géographique, la Réunion se voit obligée d'importer énormément : les importations représentent près de 5 milliards d'euros. La balance commerciale réunionnaise est extrêmement déficitaire, puisque les exportations sont quant à elles de 500 millions d'euros.

L'agriculture est le principal fer de lance de l'économie réunionnaise. Elle repose notamment sur la canne à sucre mais également sur l'élevage, ainsi que sur l'exploitation d'autres cultures. La production locale couvre près de la moitié de la demande en produits alimentaires de l'île, le reste étant importé. La SAU (superficie agricole utile) représente près de 43 300 ha et 57 % de celle-ci est destinée à la canne à sucre. La production agricole s'élève à environ 400 millions d'euros et le secteur représente 6 % de la population active, soit près de 22 000 emplois. Le sucre et les produits de la pêche sont les deux premiers postes à l'export, avec respectivement 70 et 65 millions d'euros. Concernant la production animale, c'est le secteur de la volaille qui est le premier producteur de viande à la Réunion. Le secteur agroalimentaire est quant à lui le principal secteur industriel de l'île et constitue 32 % de ses emplois et 42 % de son chiffre d'affaires.

La filière canne représente la première source d'emplois dans l'agriculture réunionnaise. Près de 200 000 tonnes de sucre sont produites chaque année (201 000 t en 2015, 196 000 t en 2014). En plus de production de sucre, la canne sert également à l'élaboration du rhum (à partir de la mélasse) et sa bagasse est utilisée comme source d'énergie et est transformée dans deux centrales thermiques. La canne est traitée au sein de deux usines, situées à Bois-Rouge et au Gol (propriété du groupe TEREOS Océan Indien), disposant d'une capacité de traitement d'un million de tonnes de canne. La production de canne varie, selon les années, entre 1,5 et 2 millions de tonnes. Cependant, la filière canne reste fragile et est soumise aux conditions météorologiques ainsi qu'aux fluctuations du marché mondial du sucre. Elle est largement subventionnée et dispose d'un dispositif d'aide face aux pertes de revenus. La filière canne fait face à l'arrêt des quotas sucriers en 2017.

4.2 La biomasse dans le contexte énergétique de la Réunion

4.2.1 Profil énergétique de la Réunion

Les énergies renouvelables (combustion de bagasse, hydraulique, solaire, éolien...) représentent 13-14% de la consommation en énergie primaire, le reste étant des ressources d'origine fossile (charbon, produits pétroliers) dont la Réunion reste fortement dépendante à ce jour. Le taux de dépendance énergétique a explosé dans les années 80-90, mais il est aujourd'hui stabilisé, entre 86-88 % depuis 2005.

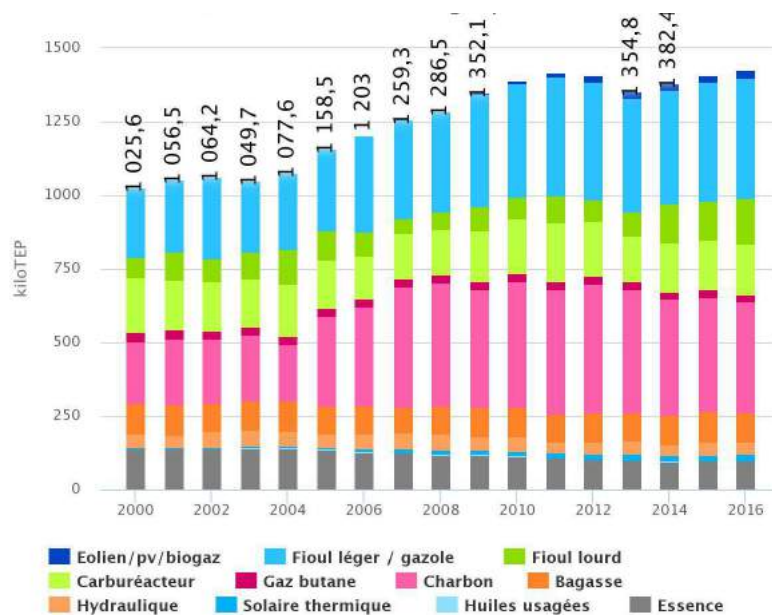


Figure 9: Evolution de la consommation en énergie primaire – La Réunion (source : SPLER, Nextat 2018)

4.2.2 La production d'électricité à la Réunion

La Figure 10 illustre d'une part la forte augmentation de la production d'électricité depuis 2000 (croissance qui tend à se stabiliser), mais aussi l'évolution de la part renouvelable par rapport aux sources fossiles. L'équilibre offre demande a été assuré par une forte hausse de la consommation en charbon entre 2004 et 2010.

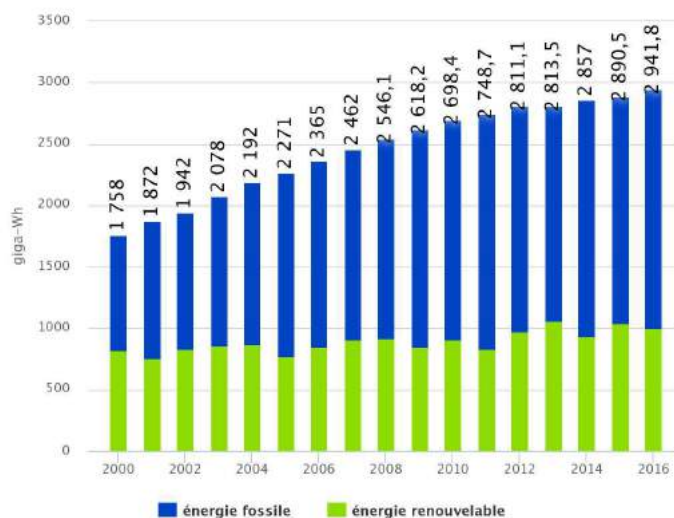


Figure 10 : Production électrique renouvelable vs fossile (source : SPLER, Nextat 2018)

L'essentiel de l'électricité est à ce jour produite à partir de fioul lourd (centrales turbine à combustion et moteur diesel, au Port Est, d'une puissance installée totale de 291 MW) et de charbon + bagasse durant les campagnes sucrières (centrales thermiques Albioma du Gol et de Bois Rouge, puissance installée totale de 210 MW). En 2016 (Figure 11), les énergies renouvelables représentaient 34% du mix électrique réunionnais, dont près de la moitié d'hydraulique. Les énergies intermittentes représentent 21% de la puissance installée des moyens de production.

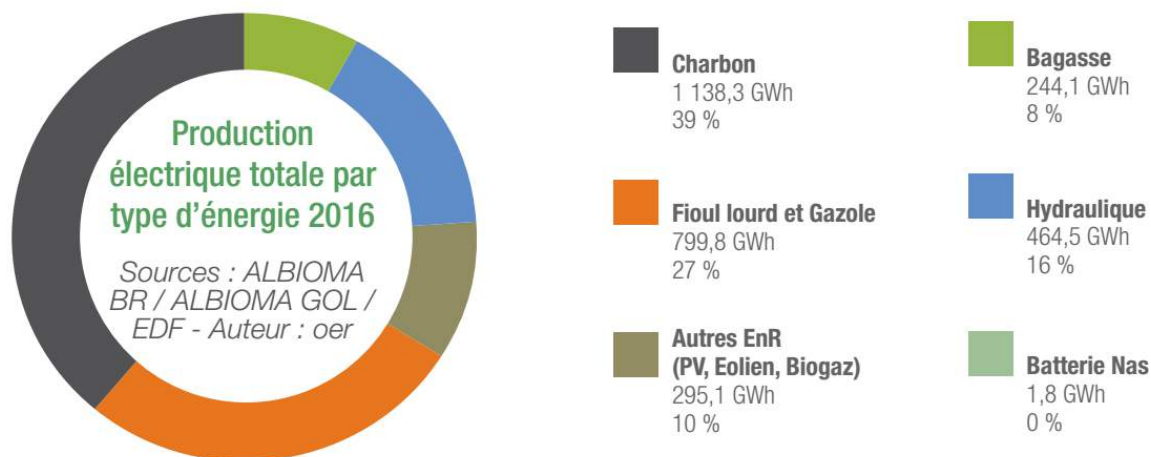


Figure 11: Production électrique à la Réunion par type d'énergie en 2016 (Auteur: OER)

La Réunion est un territoire pionnier en matière de valorisation électrique de la bagasse en bioélectricité. En effet, les usines de Bois Rouge et du Gol sont les deux premières centrales bagasse/charbon au monde. Bien que fonctionnant majoritairement (80%) au charbon, ces centrales valorisent l'intégralité de la bagasse produite sur l'île. De fait, en 2016 un total de 244 GWh, soit 8% de la consommation électrique de l'île, était issue de la combustion de bagasse.

4.3 Gouvernance et cadres réglementaires des filières biomasse énergie à la Réunion

4.3.1 Programmation Pluriannuelle de l'Energie

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE), créée par la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), est issue du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE), outil stratégique dans le secteur des énergies renouvelables, et en constitue son volet « énergie ».

La PPE de la Réunion, élément fondateur de la transition énergétique, est un outil de définition de la stratégie énergétique de l'île. Alors que la PPE de France métropolitaine est élaborée par le Gouvernement, celle de la Réunion qui est une Zone Non Interconnectée (ZNI) a été co-élaborée avec les autorités locales (Région, Etat, collectivités, ADEME, EDF, acteurs de l'énergie...).

La PPE précise les objectifs des politiques énergétiques régionales, sur l'ensemble des usages (électricité, transport, chaleur et froid), hiérarchise les enjeux, identifie les risques et difficultés associés et permet ainsi d'orienter les travaux des années à venir pour la gestion de l'ensemble des énergies sur le territoire de la Réunion. La PPE Réunion, validée le 12 avril 2017 par le décret n°2017-530, comprend différents volets (annexe 1), parmi lesquels le développement de l'exploitation des énergies renouvelables et de récupération.

La PPE fixe en particulier les **objectifs de développement des énergies renouvelables** pour les différentes filières pour substituer progressivement les énergies fossiles et atteindre une **autonomie électrique avec un mix 100% renouvelable en 2030 (50% en 2023)**. Parmi ces objectifs, certains plus spécifiques concernent la biomasse et sa valorisation énergétique par différentes filières : procédés thermiques (combustion, gazéification) et biochimiques (méthanisation). Concernant les procédés thermiques :

- Combustion

L'enjeu est de substituer le charbon par des ressources en biomasse (par exemple la bagasse et/ou les déchets verts) comme vecteur énergétique. Les objectifs sont d'atteindre une part d'électricité produite par la biomasse dans les centrales à combustion de 25% en 2018 et de 53% en 2023, ce qui

représente une augmentation de 100 GWh en 2018 et 481 GWh en 2023 par rapport à l'électricité produite en 2013.

- La gazéification

L'enjeu est de montrer la faisabilité technico-économique de cette technologie innovante par la recherche et le développement afin de développer la filière dans des conditions optimales adaptées au territoire réunionnais. Les objectifs sont une augmentation de puissance électrique installée de 1 MW pour 2018 puis 4 MW pour 2023 par rapport à 2013.

La loi de Transition énergétique prévoit une révision régulière de la programmation pluriannuelle de l'énergie, notamment pour la période 2019 - 2028.

4.3.2 SNMB - Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse

Issu de la Loi de Transition Energétique et de la Croissance Verte (LTECV) du 17 août 2015. La Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse (SNMB) a pour vocation de développer les externalités positives liées à la mobilisation, et de facto, à l'utilisation accrue de la biomasse, notamment pour l'atténuation du changement climatique.

Pour la coordination et le pilotage d'ensemble des projets de mobilisation ou de production de biomasse, en lien notamment avec le renforcement des compétences des conseils régionaux à ce niveau et les soutiens publics aux filières économiques, l'échelon régional est le plus approprié : c'est l'objet des **schémas régionaux biomasse (SRB)**.

4.3.3 Le Schéma Régional Biomasses (SRB)

Issu de la loi de transition énergétique pour la croissance verte et évoluant dans le cadre du développement de l'économie circulaire, le Schéma Régional Biomasse est codifié par les articles L.222-31 et D.222-8 à 14 du Code de l'Environnement et prévu par le décret n°2016-1134 du 19 août 2016 relatif à la SNMB et aux schémas régionaux biomasse.

Elaboré conjointement par l'Etat et la Région Réunion, **le SRB définit des objectifs de développement de la biomasse-énergie** dans le but de tendre vers un mix énergétique régional allouant une part plus importante aux énergies renouvelables et notamment d'atteindre une autonomie électrique basée des ressources 100% renouvelables.

L'élaboration du Schéma Régional Biomasse s'articule avec des plans et programmes parmi lesquels :

- La Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse (SNMB) en cours d'adoption
- Le Schéma Régional d'Aménagement (SAR) approuvé le 22 novembre 2011
- Le Schéma Régional Climat Air Energie approuvé le 18 décembre 2013
- La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) adoptée le 12 avril 2017
- Le Plan de Prévention et de Gestion des Déchets Non Dangereux (PPGDND) approuvé le 21 juin 2016
- Le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) en cours d'élaboration et prévu pour 2018
- Le Plan Régional Forêt Bois (PRFB) prévu pour 2018

Le SRB, en lien avec la SNMB, doit être élaboré en 18 mois et sera révisé a minima tous les 6 ans, parallèlement à la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE).

La biomasse est au centre de différents enjeux: l'énergie, l'aménagement du territoire, l'environnement et la biodiversité, la gestion des déchets, l'alimentation et l'économie circulaire.

Aussi, le SRB se base sur la priorisation suivante des usages de la biomasse :

1. La satisfaction des besoins alimentaires (besoins théoriquement couverts au niveau mondial à l'horizon 2050 d'après le rapport « Alimentation », FAO)
2. Les matériaux, la chimie (priorité majeure à l'économie bas-carbone dans le cadre du développement durable) et la valorisation agronomique
3. L'énergie sachant que l'utilisation de la biomasse pour l'énergie doit être prise en compte en dernier ressort pour une optimisation de la matière mobilisable

Le schéma régional biomasse comprend :

1. Un rapport analysant la situation de la production, de la mobilisation et de la consommation de biomasse, les politiques publiques ayant un impact sur cette situation, et leurs perspectives d'évolution

2° Un document d'orientation qui fixe (i) des objectifs quantitatifs de développement de filières de mobilisation de biomasses à vocation énergétique, (ii) les mesures régionales ou infra-régionales pour atteindre ces objectifs, (iii) les modalités d'évaluation et le suivi de sa mise en œuvre.

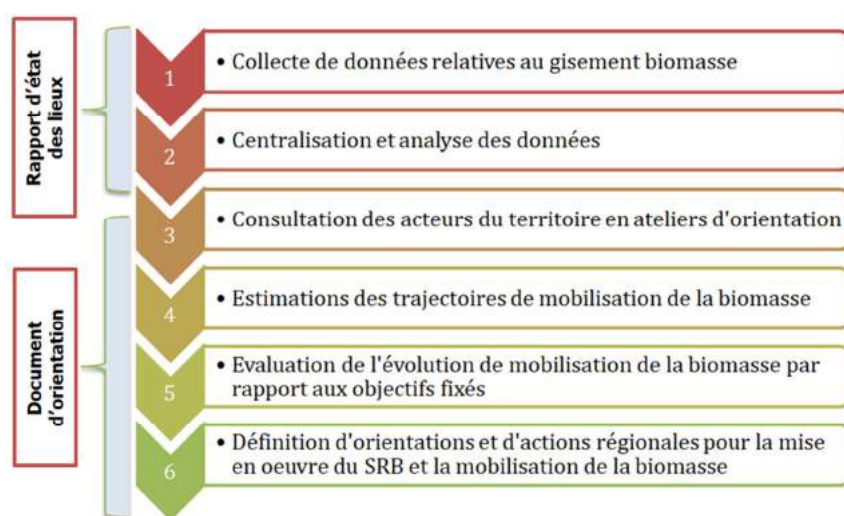


Figure 12: Méthodologie globale pour l'élaboration du SRB

Les rapports d'état des lieux et d'orientation sont actuellement en cours de validation.

Néanmoins, les principales orientations consisteraient à :

- Conforter et optimiser les filières existantes, notamment la valorisation de la bagasse, fortement lié à la filière canne à sucre ;
- Soutenir le développement des filières de combustion de la biomasse, notamment par la structuration de filières de productions de biomasses (bois, déchets verts)
- Poursuivre des travaux d'innovation (procédés, nouveaux itinéraires techniques de production).
- Soutenir les filières de valorisation énergétique de la biomasse par un cadre réglementaire plus incitatif et adapté au contexte d'une ZNI comme la Réunion.

4.3.4 Régulateur de l'énergie

La CRE (Commission de la Régulation de l'Energie) est une autorité administrative indépendante (AAI) chargée de la régulation de l'énergie en France. Créée par la loi du 10 fév 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. Elle est constituée de deux organes indépendants (article L.132-1 du code de l'énergie) : le collège (orientations, décisions) et le CoRDiS (gestion des différends et sanctions).

Ses objectifs sont de

- garantir l'indépendance des gestionnaires de réseaux.

- établir des règles harmonisées de fonctionnement des réseaux et des marchés pour que circule librement l'énergie entre les pays des Etats membres de l'Union européenne.
- assurer la concurrence entre les fournisseurs d'énergie au profit des consommateurs.
- veiller à ce que les consommateurs obtiennent le meilleur service et paient le juste prix.

Trois instruments économiques soutiennent le développement de la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables : appels d'offre, contrats de gré à gré, obligations d'achat. Cependant, les ZNI comme la Réunion ne peuvent plus bénéficier d'obligation d'achat quelle que soit le procédé et l'origine de la biomasse. L'ensemble des projets de méthanisation, combustion ou gazéification doivent donc faire l'objet d'une demande de contrat en gré à gré auprès de la Commission de Régulation de l'Énergie. Cette démarche consiste à établir un dossier comprenant l'ensemble des données techniques, économiques et financières du projet afin de justifier le tarif d'achat demandé. Le contrat est ensuite conclu pour une durée de 20 ans.

Dans les ZNI, la CRE calcule la CSPE supportée par les opérateurs, met en œuvre le soutien aux ENR (appels d'offre, obligations d'achat...) évalue et approuve les compensations signées dans les contrats de gré à gré (sur la base du coût « normal et complet » de l'installation), audite les sites de production, propose, depuis 2016, le niveau des TRV (Tarifs Réglementés de Vente) et donne des avis sur les diverses dispositions réglementaires.

4.3.5 Réglementation ICPE

Les installations et usines susceptibles de générer des risques ou des dangers sont soumises à la réglementation ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) qui est faite appliquée par la DEAL (direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement) sous l'autorité du préfet.

Les installations de combustion de biomasse font partie de la rubrique 2910 de la nomenclature des ICPE. En fonction du combustible utilisé (A ou B) et de la puissance de l'installation (seuils 0.1-2-20 MW), un régime de déclaration, d'enregistrement ou d'autorisation (niveau croissant de contrainte réglementaire) s'applique.

- Autorisation : arrêté du 26 août 2013 relatif aux installations de combustion d'une puissance supérieure ou égale à 20 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 2910
- Déclaration : arrêté du 26 août 2013 modifiant l'arrêté du 25 juillet 1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n°2910
- Enregistrement : arrêté du 24 septembre 2013 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2910-B de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

A noter que les déchets non compris dans les combustibles A et B relèvent de la catégorie 2770/2771 (incinération), plus stricte que la catégorie combustion (2910).

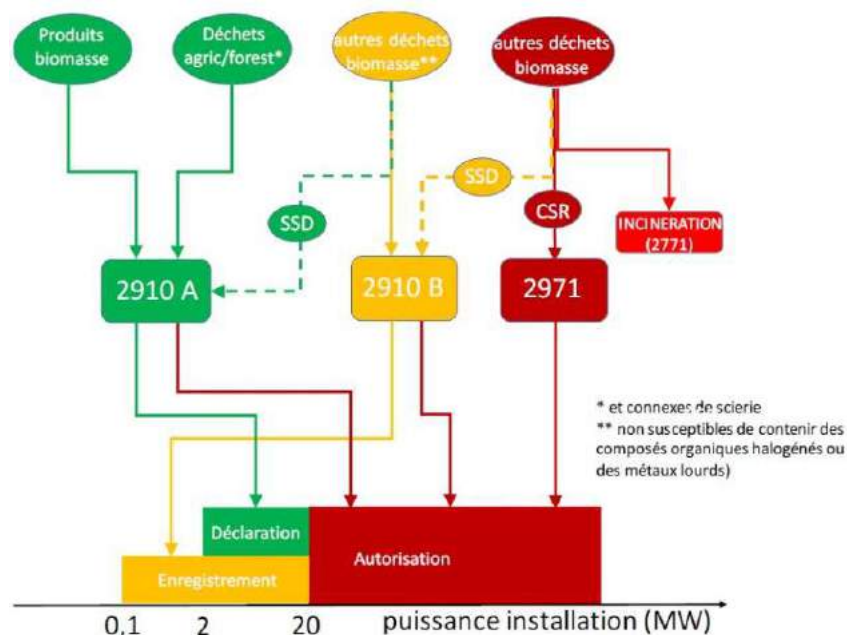


Figure 13 : Schéma de la nomenclature ICPE 2910 - 2971 – 2771 (source CIBE)

4.4 Initiatives en matière de bioélectricité (procédés thermiques)

4.4.1 Diversification de combustibles biomasse dans les centrales thermiques Albioma

Comme stipulé dans la PPE, un enjeu majeur consiste à substituer progressivement le charbon par des ressources en biomasse dans les centrales thermiques à combustion. Les objectifs sont d'atteindre une part d'électricité produite par la biomasse dans les centrales à combustion de 53% en 2023.

Les stratégies avancées par Albioma consistent à

- Valoriser les biomasses locales en priorité, sans conflit d'usage (paille de canne, résidus forestiers, etc.) et contribuant à une économie circulaire (déchets verts, broyats de palettes usagées, etc.). Une convention entre la Région et Albioma a été signée dans cette perspective.
 - o Concernant les broyats issus de déchets verts, des essais de combustion prometteurs ont été réalisés par Albioma sur la centrale thermique du Gol entre 2015 et 2017, en partenariat avec ILEVA, syndicat mixte de traitement des déchets (Ouest et Sud). Ces essais doivent être poursuivis avec le SYDNE (Nord et Est).
 - o Concernant l'approvisionnement en biomasses forestières, une convention ONF/DAAF/ADEME devrait permettre d'affiner les données existantes sur le gisement mobilisable et de procéder à des tests pour mieux évaluer les coûts.
- Recourir en complément à de la biomasse importée, dont la traçabilité et la durabilité sont assurées par des systèmes de certification et des contrôles par organismes tiers ;
- Améliorer les rendements pour contribuer à l'objectif d'efficacité énergétique.

La valorisation de Combustibles Solides de Récupération (CSR) en substitution de ressources fossiles dans les centrales 100% charbon est une autre piste à l'étude.

4.4.2 Projets de gazéification de plaquettes forestières

Le développement de la gazéification figure parmi les objectifs de la PPE. Si cette filière tarde à émerger, deux projets de mise en place d'installations de gazéification de petite puissance sont en cours à la Réunion (Tableau 5).

- Un projet de plateforme est financé et porté par la Région Réunion. Les objectifs consisteront à i) expérimenter et démontrer la faisabilité de la production d'électricité par gazéification de plaquettes forestières ; ii) mener des activités de R&D et de formation. La plateforme est constituée d'un système de préparation de plaquettes forestières (broyage, séchage), d'une unité de gazéification + moteur de cogénération (électricité/chaleur). Il est attendu que les travaux démarrent avant fin 2018, et la phase opérationnelle d'exploitation en 2019.
- Une installation de gazéification sur une exploitation est destinée à produire de l'électricité injectée sur le réseau, à partir de plaquettes forestières. Une valorisation de la chaleur pour la distillation de PAPAM avait été envisagée, mais n'est pas encore mise en œuvre. L'installation est assemblée mais n'a pas encore été démarrée. Les conditions tarifaires de rachat de l'électricité sont les principaux blocages actuels en vue de l'exploitation, étant donné qu'aucun tarif d'achat n'a pu être négocié avec la CRE et que l'obligation d'achat pour les puissances <36kWél est réglementairement obsolète.

Tableau 5 : Projets de gazéification à la Réunion

Lieu	Porteur / Partenariat	Puissance électrique installée	Biomasse	Enjeux - impacts	Avancement
CFPPA Piton St-Leu	Région / SPLER, CFPPA, CIRAD	30-40 kWe	Plaquettes forestières	1- Démonstration 2- Formation / R&D 3- Production - démo	Démarrage des travaux en 2018
Petite France	M. Hoareau / SPLER, CIRAD	50 kWe	Plaquettes forestières	Démonstration dans un contexte agricole réunionnais	Assemblage en cours, pas de planning établi

4.4.3 Expérimentation de nouvelles variétés de canne.

L'enjeu consiste à expérimenter de nouvelles sources de biomasses à la Réunion, notamment via des variétés de canne plus riches en fibres ("canne mixte" ou "canne énergie").

Un premier projet de recherche, Sypecar, s'est déroulé entre 2013 et 2015 (financement Europe et Cirad) en partenariat (Cirad/ eRcane / INRA / Quadran) et a permis d'étudier 20 variétés de canne sucre/fibre/énergie cultivées sur deux sites expérimentaux durant deux cycles (vierge et repousse).

Une suite à ce projet est en construction. Ce projet (Cirad, Energies Réunion, Quadran) permettrait d'expérimenter des itinéraires techniques innovants : culture en conditions planteurs, transformation post-récolte et valorisation énergétique mais également d'affiner les modèles existants à l'appui des données générées pour évaluer les conditions d'émergence d'une filière canne fibre à la Réunion. Les modalités de financement sont en cours de discussion, en vue d'un possible démarrage en 2019.

5 Seychelles

5.1 Eléments de contexte socio-économique et environnemental

Les plantations agricoles ont été le principal moteur économique de l'archipel jusqu'à l'ouverture de l'aéroport international en 1971. Très rapidement, le tourisme s'est imposé comme activité majeure au détriment de l'agriculture. C'est aujourd'hui la principale industrie locale, et fait vivre environ 30 % de la population.

Faute de terres arables, le secteur agricole compte peu dans l'économie (2,4% du PIBN, 8% de la population active). En effet sur l'ensemble des Seychelles, on dénombre seulement un total de 30 km² de terres agricoles (6,5 % de la superficie totale). Le secteur est caractérisé par une production pluviale et des niveaux de productivité relativement faibles. En volume de production (en tonnes), **la noix de coco**, les légumes et les bananes sont les principales cultures, tandis qu'en valeur de production (en roupies seychelloises), les noix et les fruits préparés sont les principales cultures, principalement destinées à l'exportation. Entre 1999 et 2009, la production de noix de coco a diminué de 59% et la production de bananes de 11%, tandis que la production de légumes a augmenté de 26%.

Le secteur de la pêche s'est considérablement développé au cours des dernières décennies et est particulièrement important dans le secteur agricole du pays. Le secteur manufacturier ne compte que pour 8% du PNB (principalement la conserverie de thon). Ce pays est structurellement importateur, à la fois de biens de consommation et de fournitures liées aux investissements.

5.2 Contexte énergétique

5.2.1 Profil énergétique des Seychelles

La consommation d'énergie primaire des Seychelles est tributaire à 99,5% de produits pétroliers importés.

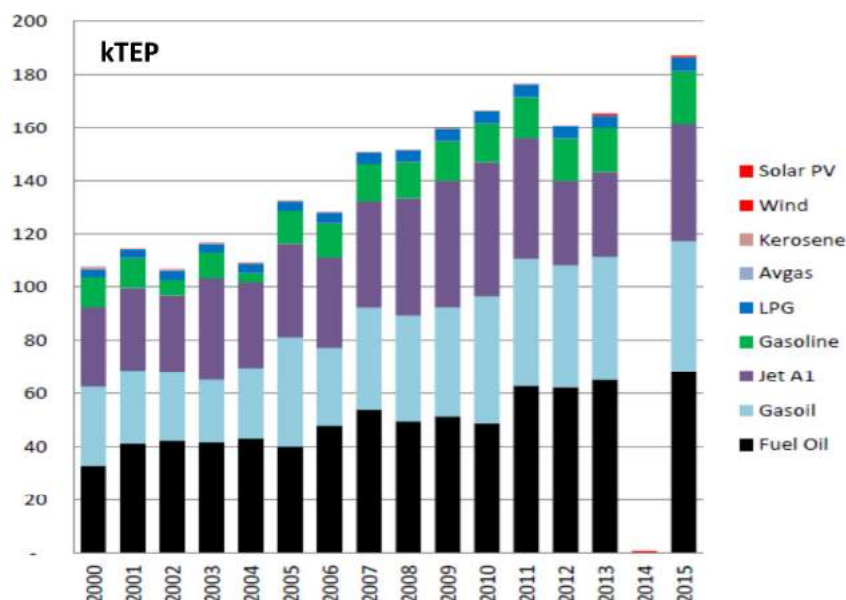


Figure 14 : évolution des consommations en énergie primaire des Seychelles entre 2000 et 2015 (données pour 2014 non disponibles) ^{7 8}

⁷ Analysis of seychelles energy demand in 2000-2015, Presentation by the Seychelles Energy Commission , Mamy Razanajatovo , Green Climate Fund Workshop at SFA on 20th, Sept 2016

⁸ Integrated Energy Study for Seychelles for 2015-2035, Parts 1&2, Seychelles Energy Commission

Comme mis en évidence Figure 14, entre 2000 et 2015 la consommation en énergie primaire est passée de 107 kTEP à 187 kTEP, avec un taux de croissance annuel moyen de 3,8%. En 2015, la facture énergétique des Seychelles a représenté 25,15% de sa facture totale d'importation.

La part de l'énergie renouvelable a commencé à être visible en 2013 avec l'implantation d'éoliennes et de champs photovoltaïques. Ces deux sources d'énergies renouvelables permettent de produire de l'électricité qui est injecté sur les réseaux (cf. ci-dessous).

Historiquement, le pétrole a été le moyen le plus rentable de produire de l'électricité aux Seychelles, de fournir de l'énergie pour le transport et la majorité des autres services énergétiques. Cependant, la flambée des prix du pétrole en 2008 a prouvé que la seule dépendance au pétrole est risquée, ce qui a incité le gouvernement à élaborer en 2009-2010 une nouvelle politique énergétique pour la période 2010-2030, (« an energy policy for a Small Island Developing State », SIDS) afin de réduire cette dépendance. De nombreuses campagnes de sensibilisation auprès du grand public ont été menées, d'abord pour économiser l'énergie, mais aussi pour développer les énergies éolienne et photovoltaïque.

5.2.2 La production d'électricité aux Seychelles

Le taux d'accès à l'électricité est proche de 100% de la population.

La quasi-totalité de l'électricité du pays est produite par la société publique Public Utility Corporation (PUC). En 2013, la capacité installée de PUC sur Mahé était de 69,5 MW et sur Praslin de 13,8 MW. Pour l'île de La Digue, l'électricité est fournie par Praslin via un câble sous-marin alors que pour les autres îles gérées par la Island Development Corporation (IDC) ou la Seychelles Island Foundation (SIF), de plus petits générateurs fonctionnant au gazole sont utilisés. Il y a aussi plusieurs grands hôtels qui ne sont pas connectés au réseau national et qui ont donc leur propre génération basée sur des générateurs diesel.

Deux réseaux principaux délivrent l'électricité aux Seychelles, le réseau Mahé et le réseau de Praslin. Chaque réseau comprend une ligne de transmission haute tension de 33 kV et 11 kV et un réseau basse tension de 410V et 240V. Les systèmes de distribution sur l'île principale de Mahé alimentent certaines des îles intérieures (Sainte Anne, île du Cerf) via un câble sous-marin.

L'approvisionnement en électricité des Seychelles est assuré à 97,7 % par combustion de produits pétroliers (fuel lourd et gasoil) dans les centrales thermiques (369,3 GWh en 2015). En 2017 1,8% de la production était assurée par le parc éolien et 0,7% par du photovoltaïque, soit un total d'électricité d'origine renouvelable qui n'excède pas les 2,3 % dans le mix électrique (9,6 GWh).

Le parc éolien a été implanté en juin 2013, encouragé par le gouvernement (au travers la Seychelles Commission de l'énergie des Seychelles, SEC). En 2013, le gouvernement des Seychelles a mis en œuvre le programme « Promotion des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau sur le toit aux Seychelles ». L'objectif étant d'augmenter l'utilisation des systèmes photovoltaïques (PV) connectés au réseau en tant que moyen durable de production d'électricité dans les petites îles des Seychelles, en mettant l'accent sur les petits producteurs déjà connectés au réseau électrique national.

En revanche, à ce jour, la part biomasse dans le mix électrique est nulle.

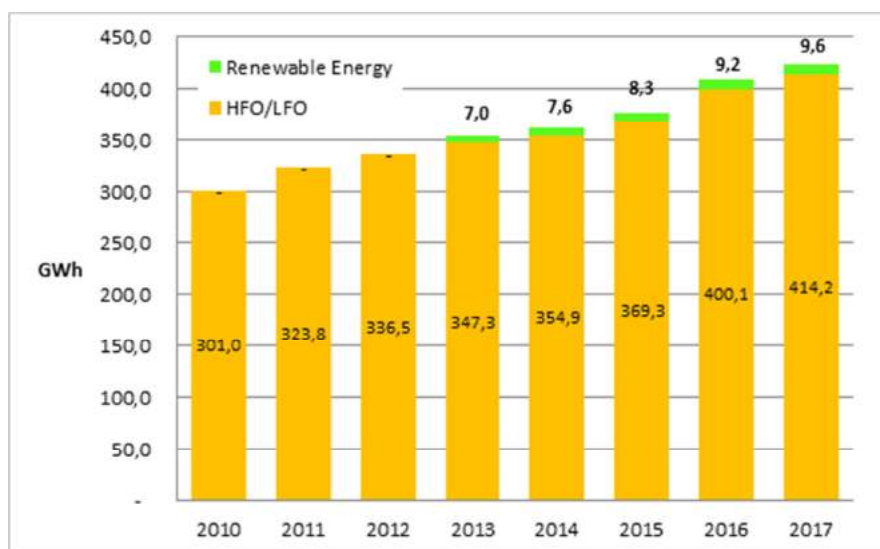


Figure 15 : Production électrique aux Seychelles de 2010 à 2017⁹

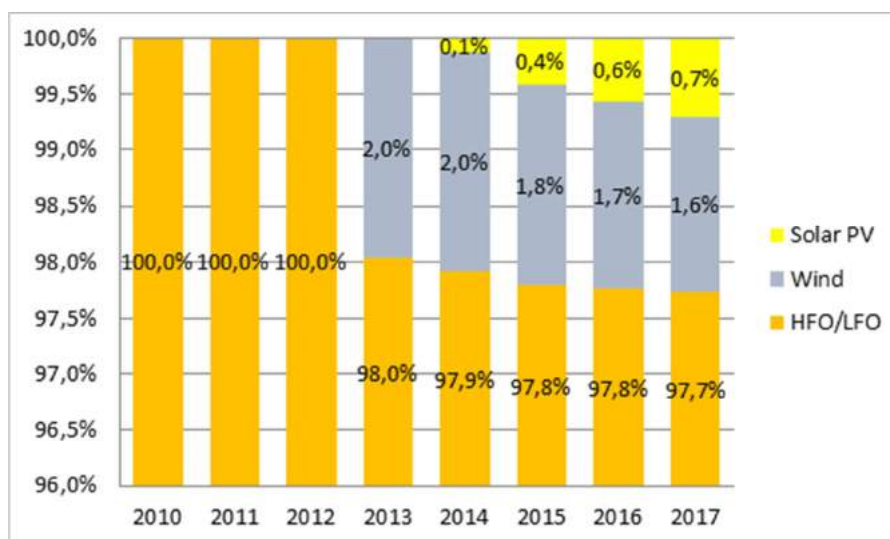


Figure 16 : Mix électrique aux Seychelles de 2010 à 2017⁹

⁹ Mamy Razanajatovo, *Les exercices de modélisation du mix électrique aux Seychelles: quelles actions menées et perspectives pour l'horizon 2025 et 2030*, Forum Energies COI – Mai 2018

5.3 Gouvernance de l'Energie et cadre réglementaire

5.3.1 Rôles et fonctions des institutions

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC)

Ce ministère est responsable de la formulation des politiques, stratégies et plans d'action en matière d'énergie. Le MEECC est le ministère de tutelle de la SEC et de la PUC.

Seychelles Energy Commission (SEC)

La Commission de l'Energie des Seychelles a été créée en juillet 2009 et a la responsabilité de la supervision et de la planification de l'approche du gouvernement sur les questions énergétiques et de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique énergétique nationale.

Avec la promulgation de la loi de 2012 sur l'énergie, la SEC est devenue un organe chargé de la mise en œuvre de la politique énergétique nationale et de la réglementation du secteur de l'électricité. Parmi les autres responsabilités prévues par la loi, citons le conseil auprès du MEECC et du gouvernement sur les questions énergétiques.

Public Utilities Corporation (PUC)

La PUC est un organisme entièrement détenu par le gouvernement des Seychelles, créé le 1er janvier 1986 et relevant du MEECC par l'intermédiaire de son conseil d'administration. La PUC est une entreprise de services publics intégrée verticalement qui est responsable sur les trois îles principales des Seychelles (Mahé, Praslin et La Digue) de (i) la production, le transport, la distribution et la vente d'énergie électrique ; (ii) la distribution d'eau, la collecte et le traitement des eaux usées ; (iii) la collecte et le traitement des déchets.

Seychelles Petroleum Company (SEYPEC)

La SEYPEC est responsable (i) des activités pétrolières « aval » ; (ii) de l'Importation, la réexportation, le stockage et la distribution de produits pétroliers

Petro-Seychelles

Petro-Seychelles est responsable de la politique pétrolière « amont », notamment de la prospection pétrolière.

5.3.2 Politique énergétique

Suite à la crise pétrolière de 2008, le gouvernement a confié à la SEC l'élaboration d'une nouvelle politique énergétique pour la période 2010-2030, (an energy policy for a Small Island Developing State, SIDS). L'objectif principal était de développer un secteur énergétique durable. Les principaux éléments mis en avant par cette politique consistent à

- réduire la dépendance aux énergies fossiles,
- améliorer l'efficacité énergétique,
- diversifier le mix énergétique, notamment électrique, grâce au développement des énergies renouvelables,
- assurer des services énergétiques de base abordables pour l'ensemble de la population.

Les objectifs fixés consistaient à **atteindre dans le mix électrique 5% d'énergie renouvelable en 2020 et 15% en 2030.**

Pour accroître la production d'énergie renouvelable, les orientations privilégiées pour la période 2010-2030 concernent le développement de l'éolien, du solaire ainsi que la valorisation énergétique des déchets d'élevage et des déchets d'origine urbaine.

Sur ce dernier point, l'option envisagée par le gouvernement est celle d'une valorisation énergétique de biomasse dans le cadre d'un système de récupération intégrée des déchets. Cette réflexion s'appuie sur l'analyse menée dans le cadre de la Stratégie de développement durable des Seychelles (2012-2020), selon laquelle les Seychelles génèrent en moyenne 48 000 tonnes de déchets par an.

Cela devrait augmenter de 40% au cours des dix prochaines années, ce qui est très préoccupant étant donné la disponibilité limitée des terres et le manque de capacité à traiter les déchets, en particulier les déchets dangereux.

5.3.3 Cadre réglementaire de l'électricité

Le cadre régulateur de l'électricité a été mis en place par l'Energy Act de 2012. La loi est entrée en vigueur en 2013. Les principales mesures sont les suivantes :

- La production électrique a été ouverte au secteur privé. En revanche, le transport et la distribution de l'électricité sont toujours sous le monopole de PUC.
- À ce jour, la réglementation relative au secteur de l'électricité relève toujours de la loi de 1986 sur la PUC et de ses modifications ultérieures. La réglementation de l'électricité doit être élaborée.
- Tous les acteurs du marché de l'électricité doivent disposer d'une licence (y compris la production distribuée). Le processus d'attribution de licence est régi par le règlement relatif à l'énergie (licence) 2016 et administré par la SEC.
- Des réglementations doivent être développées concernant la comptabilité, les frais de connexion au réseau et la qualité des services.
- En ce qui concerne les tarifs, les Seychelles utilisent le système de réglementation des coûts de service. Il existe un mécanisme de tarification de l'ajustement trimestriel du carburant que le conseil d'administration de SEC doit approuver.

Des évolutions prochaines sont encore attendues dans la réglementation.

5.4 Les initiatives et projets de bioélectricité

Dans le cadre de la Stratégie de développement durable des Seychelles (2012-2020), la question de la valorisation des déchets est évoquée comme une solution permettant à la fois de diminuer la masse globale de déchets à traiter tout en produisant de l'énergie

Dans ce sens la SEC (Seychelles Energy Commission) a reçu, dès 2011, cinq propositions de projets public/privé concernant des projets de valorisation énergétique des déchets dans le site d'enfouissement existant de Mahé : un incinérateur, deux usines de biogaz, un gazogène et une usine de gaz de décharge. Jusqu'à présent, aucune décision n'a été prise quant à l'option qui convient le mieux aux Seychelles. En outre, le gouvernement chinois, en partenariat avec le ministère de l'Agriculture, finance des projets pilotes de biogaz dans quatre fermes d'élevage du pays. Ces projets ne concernent pas la biomasse ligneuse mais plutôt les effluents d'élevage et les fractions fermentescibles des ordures.

Il n'y a pas, à ce jour, de projet connu de valorisation de déchets ligneux.

En remontant aux années 1980-1990, on retrouve des expériences de gazéification sur résidus de bois et de coco. L'unité de gazéification, installée sur l'île Mahé, appartenait à la Technology for Development Division (TDD), qui fait partie du Ministère du développement national. L'installation était destinée à produire de l'électricité dans le cadre d'un programme de recherche et de développement. La puissance est produite par un groupe électrogène de 45 kVA en mode Dual Fuel ou 40 kVA en gaz. Les ressources valorisées consistaient en des plaquettes de bois et des cosses de coco. A notre connaissance, aucune suite n'a été donnée mais nous n'avons pas de référence concrète ni de témoignage quant à un retour d'expérience.

PARTIE II : Etat des lieux des gisements disponibles en biomasse lignocellulosique

1 Cadre donné à l'évaluation

1.1 Typologie des biomasses lignocellulosiques évaluées

1.1.1 Biomasses issues du secteur agricole

Parmi les biomasses agricoles, on distingue communément les résidus de cultures, les résidus de transformation et les cultures dédiées. A notre connaissance, aucune culture dédiée significative n'est répertoriée sur la COI.

L'évaluation s'est concentrée sur les sous-produits lignocellulosiques des cultures suivantes.

- **Sous-produits de culture du riz**
 - Balle de riz. Sous-produit dérivé de la transformation du riz, la balle de riz constituée par l'ensemble des bractées ou glumelles renfermant le grain, récupérées à l'issue du décortiquage et du tamisage du paddy sec. Cette biomasse a une consistance dure. Elle est pratiquement imputrescible et inattaquable par les insectes.
 - Pailles de riz. Une fois séchées et battues (de façon manuelle ou mécanique), les gerbes de riz sont qualifiées de pailles qui sont des résidus de culture.
- **Sous-produits de culture du maïs**
 - Les feuilles et les tiges sont des résidus de culture.
 - Les rafles et spathes qui sont plutôt considérés comme sous-produits de transformation même s'ils sont parfois laissés au champ selon les itinéraires techniques suivis.
- **Sous-produits de culture de la canne à sucre**
 - Bagasse. Elle consiste en la partie fibreuse restante de la canne à sucre après l'opération de pressage du jus (environ 30% en masse sur matière fraîche). Elle est constituée à environ 50% de matières sèches.
 - Pailles de canne. Les résidus de la récolte de canne à sucre, appelés « pailles de canne », correspondent aux feuilles et têtes de canne (appelées « chou »). La proportion de paille (15-30% en MS) dépend fortement de la variété, du type de coupe et du cycle de plantation. L'humidité des pailles de canne à sucre est estimée à 30%.
- **Sous-produits du cocotier**
 - Bourres (fibres entourant la noix) et pétioles (base des feuilles). Il s'agit des résidus qui restent concentrés sur les plantations car les noix sont le plus souvent défibrées au champ.
 - Coques. Il s'agit de la partie l'enveloppe ligneuse de la noix. Les coques sont concentrées sur les éventuels sites de transformation.

1.1.2 Biomasses issues du secteur forestier

Le bois peut être utilisé sous différentes formes de combustibles pour une valorisation énergétique : bûches, plaquettes forestières, sciures, copeaux, granulés... Les types de combustibles et leurs propriétés sont fortement liés aux essences et aux itinéraires techniques de prélèvement et de conditionnement.

A ce stade, l'évaluation se concentre uniquement sur les gisements, qui ont été répartis en quatre catégories.

- **Résidus d'exploitation légale de forêt naturelle**

Sont considérés les produits connexes et rémanents d'exploitation, qui sont laissés sur les sites d'exploitation car impropres à une valorisation comme bois d'œuvre : houppiers, branches, feuilles, racines.

- **Plantations forestières**

Ne sont considérées ici que les plantations forestières d'espèces exotiques sélectionnées pour leur productivité (eucalyptus notamment) et exploitées pour le bois d'œuvre et ou le bois énergie. Ne sont pas intégrées les programmes de replantation d'espèces indigènes/endémiques destinées à repeupler la forêt naturelle.

- **Résidus de transformation du bois**

Il s'agit des résidus générés par l'industrie du bois, particulièrement les scieries : copeaux, sciures et écorces. Quelles que soit l'origine des bois (plantations ou forêt naturelle), ces résidus constituent un gisement spécifique dans la mesure où ils sont centralisés sur le site de transformation.

- **Exploitation d'espèces invasives**

Certaines espèces exotiques sont identifiées comme envahissantes pour la végétation endémique. Leur exploitation, sous réserve possible de contraintes réglementaires, est envisageable à des fins de préservation de la biodiversité et/ou de valorisation énergétique.

1.1.3 Biomasses d'origine urbaine

- **Fraction ligneuse des déchets verts**

La définition de déchets verts est fortement liée à la réglementation locale et aux circuits de collecte. Ne seront considérés ici que la fraction ligneuse (branches, tailles de haies, ...) issue d'entretiens d'espaces verts particuliers ou collectifs.

- **Bois de palettes**

Les palettes étant constituées de bois, elles sont considérées comme une source ligneuse potentiellement valorisable en énergie.

Les autres sources de déchets urbains, notamment ménagers, n'entrent pas dans la catégorie de biomasse ligneuse et ne seront donc pas considérées.
--

1.2 Sélection des ressources les plus pertinentes par pays

Le Tableau 6 donne un aperçu général sur les limites données à l'évaluation par typologie de biomasse et par pays. Il convient de signaler que cette sélection ne se prétend pas exhaustive.

- Pour chaque pays certaines cultures n'ont pas été considérées pour des raisons (i) soit de volume de production trop faibles à l'échelle de l'île, (ii) de difficultés d'accès ou de collecte a priori trop importantes ; (iii) soit encore pas des défauts de données.
- Cette absence ne signifie pas que localement certaines cultures/résidus puissent avoir un intérêt pour de petites productions électriques décentralisées.

Ces remarques sont notamment valables pour Madagascar en raison de la taille de l'île et de la diversité de contextes locaux / régionaux.

Tableau 6 : Panorama des biomasses évaluées par catégorie et par pays

Catégorie	Sous-catégorie	Biomasse	Comores	Seychelles	Madagascar	Réunion	Maurice
Biomasses agricoles	Résidus de culture	Pailles de canne à sucre			+	+	+
		Pailles de riz	?		+		
		Feuilles/tiges de maïs			+		
		Bourres et pétioles de coco	+	+			
	Résidus de transformation	Bagasse (CAS)			+	+	+
		Balle de riz	?		+		
		Raffles de maïs			+		
		Coques de coco	+	+			
	Cultures dédiées	-					
Biomasses forestières	Résidus d'exploitation légale de forêt naturelle		+	+	+	+	+
	Plantations forestières		+	+	+		
	Résidus de transformation du bois		+	+	+	+	+
	Exploitation d'espèces invasives					+	+
Biomasses d'origine urbaine	Déchets verts	Fraction ligneuse		+		+	+
	Broyats de palettes					+	

1.3 Méthodologie générale d'évaluation

La disponibilité en biomasse pour la production d'énergie s'apprécie au regard de plusieurs critères d'aptitude biophysique, d'accessibilité, de durabilité, de viabilité économique et de faisabilité technique, qui définissent 3 types de potentiels :

- Le potentiel théorique : il correspond à la quantité de résidus théoriquement produits sur une région donnée, compte tenu du rendement moyen des plantations, des itinéraires techniques pratiqués et des ratios de résidus.
- Le potentiel disponible : il correspond à la fraction du potentiel théorique qui est disponible pour l'usage énergétique et pour les acteurs de la filière énergie. Il tient compte des droits d'accès à la ressource théorique, des compétitions entre usages ainsi que de la saisonnalité des biomasses.
- Le potentiel durable : il correspond à la fraction du potentiel disponible qui peut être produit durablement compte tenu de règles de durabilité environnementale et sociale et des critères de viabilité économique de la chaîne de production/approvisionnement (taille des unités, distances de collecte, coût max d'achat de la ressource...)

Pour cette première phase, l'évaluation a porté sur les potentiels théorique et disponible, à l'appui

- d'une analyse bibliographique des études récentes (état des lieux qualitatif et quantitatif des ressources en biomasse, mobilisation des ressources) ;
- d'une cartographie des ressources à partir de données disponibles ;
- de nos expertises propres (ou travaux antérieurs) sur les filières considérées.

Le potentiel durable ne peut être précisé que sur des cas d'études sur un périmètre plus restreint.

2 Union des Comores

L'agriculture est un secteur économique central aux Comores, représentant plus de la moitié des emplois, et un tiers du PIB du pays. La carte d'occupation des sols (Figure 17) illustre la répartition des terres cultivées et sous couvert forestier, sur les trois îles.

Note : la présente évaluation ne concerne que les trois îles de l'Union des Comores : Grande Comore, Mohéli et Anjouan

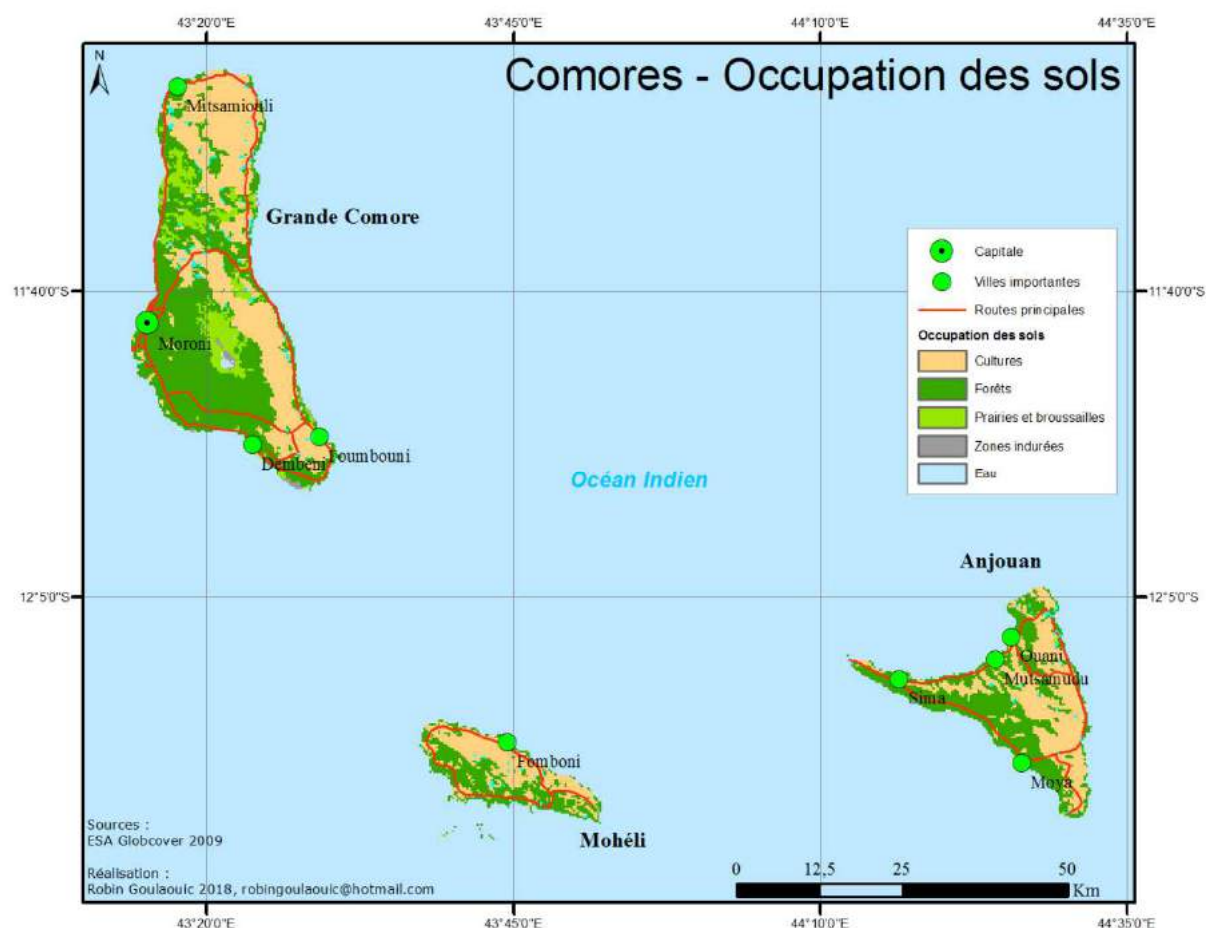


Figure 17 : Carte d'occupation du sol– Comores

2.1 Biomasses d'origine agricole

2.1.1 Les sous-produits de la production rizicole

Note des auteurs :

L'évaluation ci-dessous est basée sur des données bibliographiques faisant état d'une production rizicole, certes non majeure mais existante d'après la FAO. Des informations contradictoires ont été obtenues depuis, notamment via le PFN des Comores, signalant que la culture du riz n'est plus pratiquée à ce jour aux Comores.

Nous avons malgré tout laissé les détails de nos estimations initiales pour information, mais nous actons que ce gisement

2.1.1.1 Description de la filière et des pratiques

Le riz est la céréale la plus consommée aux Comores, mais la production locale est trop faible pour subvenir aux besoins de la population. Seul 25% du riz consommé aux Comores est produit sur place. D'après la FAO, en 2016, les superficies rizicoles étaient de 26 575 ha, pour une production totale de 33 943 tonnes de paddy (soit 1,27t/ha).

A ce jour, nous manquons de données quant à l'organisation de la filière. Il n'existe pas à notre connaissance de rizeries ni de décortiqueries sur aucune des trois îles des Comores. Cela laisse supposer que le riz est décortiqué à la ferme par pilonnage manuel.

2.1.1.2 Estimation du potentiel en paille de riz

- Gisement théorique

Le ratio massique paddy sec/paille de riz est de l'ordre de 1/1,5 (source FAO).

→ Le gisement théorique de paille de riz est estimé à 50 900 tMS/an.

- Usages et gisement potentiel pour une valorisation énergétique

Nous manquons d'informations pour évaluer les usages en cours de la paille de riz. Etant donné le profil agricole et économique du pays, ainsi qu'à partir des usages traditionnellement observés de ce co-produit, il est raisonnable d'estimer que la paille de riz est utilisée pour l'élevage (alimentation ou paillage), comme matériau de construction, fertilisant minéral ou enfin comme combustible d'appoint. D'autre part, une autre contrainte est liée à la faible concentration de ce gisement (le riz est battu sur des aires de battage proche des fermes),

→ Pour ces raisons, le potentiel disponible pour une valorisation énergétique est aujourd'hui considéré comme négligeable.

2.1.1.3 Estimation du potentiel en balle de riz

- Potentiel théorique

A partir d'une tonne de paddy, on estime qu'environ 0,2 tonnes de balle de riz sont récupérables (source FAO).

→ Le gisement théorique de balle de riz est estimé à environ 6 800 tMS/an.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

Il n'existe pas à notre connaissance de rizeries ni de décortiqueries sur aucune des trois îles des Comores. Cela laisse supposer que le riz est décortiqué à la ferme par pilonnage manuel.

Comme pour la paille de riz, les informations manquent quant aux usages des balles de riz. Là encore, l'hypothèse la plus probable reste que cette ressource est utilisée localement, comme combustible d'appoint et, après combustion, comme fumure minérale.

Le manque de données, les conditions supposées de production, la faible concentration estimée du gisement ainsi que les usages probables de cette ressource portent à considérer comme inexistant le gisement disponible de balle de riz.

→ Pour ces raisons, le potentiel disponible pour une valorisation énergétique est aujourd'hui considéré comme négligeable.

Note : et ce, d'autant plus que la culture du riz ne serait en réalité plus pratiquée aux Comores à ce jour

2.1.2 Les sous-produits de la production de noix de coco

2.1.2.1 Description de la filière et des pratiques

Le cocotier est intimement lié à la culture comorienne. Toutes les parties de l'arbre sont transformées pour les besoins de la vie courante et la noix de coco est utilisée dans de nombreux plats traditionnels. A la fin des années 1990, le projet DECVAS visait à réhabiliter la cocoteraie comorienne vieillissante à travers la production de près de 100 000 plants. Mais dans les années 2000 une maladie, le complexe aleurode fumagine, s'est accentuée. Celle-ci couvre les cocotiers d'une couche noirâtre et réduit voire annule leur production de noix. L'impact de cette maladie est énorme : la baisse de récoltes de noix sèches est estimée à 85% en Grande Comore, 64% à Anjouan et 39% à Mohéli. Si la valeur de la noix de coco a augmenté, la filière de la noix de coco a quasiment disparu : la fabrication d'huile n'existe presque plus, à part en milieu rural sur Mohéli (source Danneville et Maleval 2004).

Les derniers chiffres connus (2005) comptabilisent 1 800 000 cocotiers sur l'archipel, dont 80 000 en Grande Comore, 550 000 à Anjouan et 470 000 à Mohéli (source Ollivier et Delvare 2005). Cette disparité apparaît également au niveau de la productivité annuelle des plants : 5 noix/cocotier en Grande Comore, 20 sur Anjouan et 40 à Mohéli. La production est extrêmement morcelée (40 000 cocoteraies < 1ha) et seule Mohéli compte de relativement grandes concentrations de cocotiers (Figure 18).

La production annuelle de noix de coco et ses produits dérivés sont consommés localement.

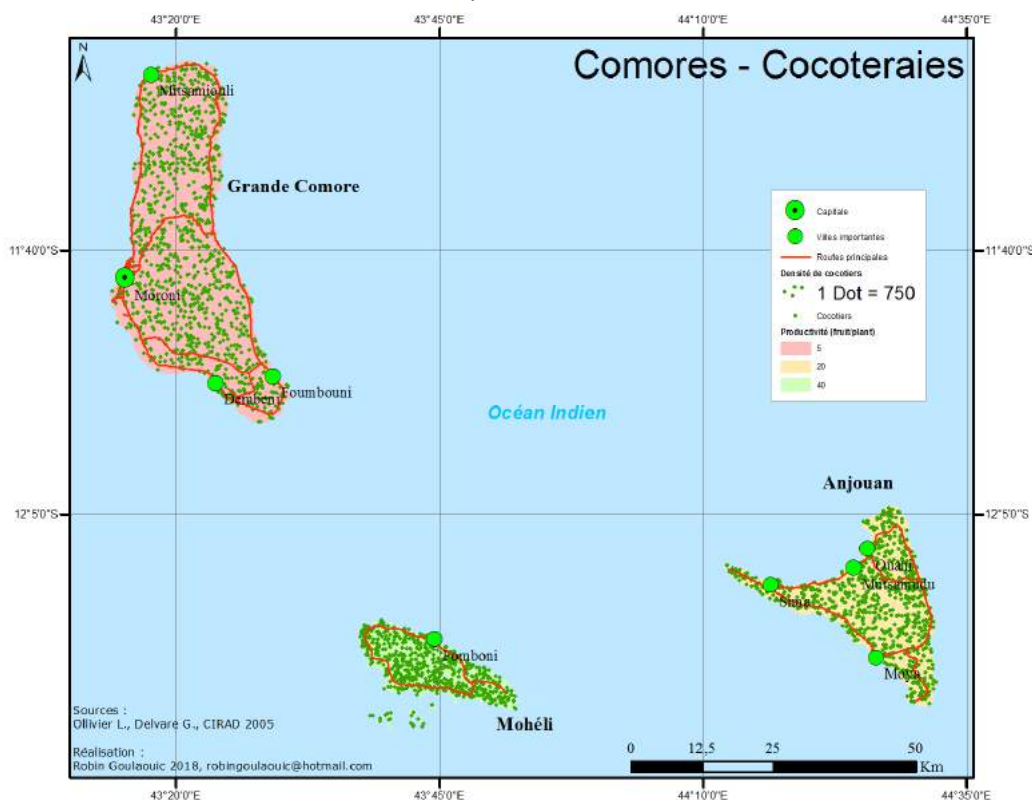


Figure 18 : Cartographie des densités de cocotiers aux Comores

2.1.2.2 Estimation du potentiel en co-produits de coco

- Potentiel théorique

Les estimations sont basées sur les hypothèses suivantes (source CIRAD-GRET 2002):

- Les fruits du cocotier pèsent en moyenne 1,2 kg, dont on peut extraire
 - o 33% de bourre sèche
 - o 15% de coque sèche

- Chaque cocotier perd 13 feuilles / an, ce qui représente une production en pétioles de 26 kg/an.

Le tableau suivant présente les gisements théoriques de biomasse valorisable issus des cocotiers à partir des estimations de peuplements de 2005 :

Tableau 7. Production issues de cocotiers (2005)

	Cocotiers	fruits/plant	Fruits (t/an)	Pétioles (t/an)	Bourres (tMS/an)	Coques (tMS/an)
Grande Comore	780000	5	4680	20280	1544,4	702
Anjouan	550000	20	13200	14300	4356	1980
Mohéli	470000	40	22560	12220	7444,8	3384
TOTAL	1800000		40440	46800	13345,2	6066

Le gisement théorique annuel s'élève donc, à l'échelle de l'archipel à 46 800 t de pétioles ; 13 300 t de bourres ; 6 100 t de coques.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

Traditionnellement, la totalité des co-produits du cocotier sont valorisés, essentiellement comme combustible, en vannerie et comme matériaux de construction. Nous manquons cependant de données fiables pour évaluer les usages existants de ces co-produits aux Comores. Il est fort probable que l'essentiel de ces co-produits soient toujours valorisés par les populations locales.

Une autre contrainte de la mobilisation des coproduits est liée au fort morcellement des plantations et à la très faible concentration des gisements à l'échelle de l'archipel

- Les noix de coco sont extraites des bourres directement sur les plantations. Aussi, la concentration en bourres est directement liée à la concentration des cocotiers. Celle-ci est très faible au Comores, excepté sur Mohéli. Le même raisonnement est applicable pour les pétioles, qui tombent directement des plants toute l'année.
- Les coques des noix consommées telles quelles sont réparties parmi les consommateurs, et relèvent d'avantage des déchets verts ménagers que de co-produits agricoles.
- Seule la transformation des noix en coprah permet d'envisager des sites de concentration de ce gisement. Or, la production de coprah a pratiquement disparu, sauf à petite échelle sur Mohéli.

Pour ces raisons de dispersion, d'utilisation actuelle et en l'absence d'un système de ramassage des déchets verts la disponibilité en résidus issus des cocoteraies peut être considérée comme négligeable.

Le cas de Mohéli (plus faible morcellement des plantations, concentration possible de noix à travers des processus de transformation) mériterait néanmoins d'être étudié plus avant.

2.2 Biomasses d'origine forestière

En 2010, la superficie forestière des Comores était estimée à 37 000 ha soit 20% de la surface totale, toutes îles confondues (Source IFN 2010). La Forêt est exclusivement du domaine public.

Cette superficie était estimée à 49 000 ha en 1990, soit une perte moyenne de 600ha/an durant ces 20 dernières années (Source FAO – FRA 2015). Depuis les années 70, on constate le recul de la forêt au profit de l'agriculture vivrière et de l'urbanisation. Les quelques forêts qui subsistent, notamment à Anjouan et Mohéli, sont des reliquats dans des zones difficilement accessibles. A Anjouan, le couvert forestier de l'île est passé de 9012 hectares en 1995 à 1701 hectares en 2014, ce qui représente une perte de 80% de la forêt naturelle. La surface forestière restante ne représente plus que 4% de la superficie de l'île.

Le bois représente la première ressource énergétique de l'île. Bien que les chiffres récents manquent, le bois couvrait en 2000 78% des besoins énergétiques des populations urbaines et

rurales (FAO/FOSA, 2000). Le bois-énergie récolté provient des zones forestières des hauts et part vers les zones basses où se trouve l'essentiel des agglomérations urbaines.

Le bois-énergie provient également des quelques plantations présentes sur l'île : environ 2 500 ha de reboisement (essentiellement Eucalyptus Robusta) étaient comptabilisés en 2000. Mais ces reboisements, quand ils existent encore, sont en très mauvais état. Pendant ces récentes dernières années on a constaté également une régression de 110 hectares environ par an des plantations forestières.

A notre connaissance, aucune exploitation de bois d'œuvre n'est actuellement présente sur les 4 îles.

Ainsi aux Comores, la situation des forêts ne permet pas d'envisager une quelconque exploitation de la ressource ligneuse. On peut considérer qu'aucune ressource forestière, naturelle ou plantée, n'est disponible actuellement.

2.3 Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses

Le Tableau 8 présente une synthèse AFOM des potentiels de chaque ressource.

Si sur le plan d'un potentiel théorique, les sous-produits de la culture de coco et du riz sont les seuls potentiellement exploitables, de nombreuses réserves nous incitent à être très prudents vis-à-vis des usages actuels et par conséquent aux gisements réellement disponibles. Le cas des sous-produits de la coco mériterait d'être étudié plus avant.

Il ressort en outre que l'évaluation souffre d'un certain manque de données fiables.

Tableau 8 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Comores

	Gisements théoriques estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Paille de riz	50 900 tMS/an	Culture céréalière principale	Gisements non concentrés		Usages existants
Balle de riz	6 800 tMS/an	Culture céréalière principale	Filière agricole peu structurée - pas de transformation industrielle du riz		Usages existants
Bourres de coco	13 350 tMS/an	Cocotiers très nombreux en Comores	Maladie impactant fortement la production - gisements non concentrés		Usages existants ?
Pétioles cocotiers	46 800 tMS/an	Cocotiers très nombreux en Comores	Maladie impactant fortement la production - gisements non concentrés		Usages existants ?
Coques de noix de coco	600 tMS/an	Cocotiers très nombreux en Comores	Maladie impactant fortement la production - gisements non concentrés	Concentration d'une partie des coques dans les usines de coprah	La filière coprah est presque inexistante
Ressources forestières	0				

3 Madagascar

3.1 Biomasses d'origine agricole

3.1.1 Les sous-produits de la production rizicole

3.1.1.1 Description de la filière et des pratiques

Le riz est la principale culture vivrière à Madagascar et l'aliment de base pour la majorité de la population : environ 120 à 130kg/habitant/an. Cette filière est la première activité économique en milieu rural en termes de volume : (i) dans 72 % des Communes, principale culture en termes d'occupation de la superficie cultivée en 2001 ; (ii) principale source de revenu des ménages dans 45% des communes de Madagascar en 2001.

En 2016, la production totale de paddy sec à Madagascar était estimée à 4 Mt (Source USDA 2018). Le riz se cultive partout à Madagascar mais certaines zones ont une meilleure potentialité en raison de la présence des plaines alluvionnaires, des cuvettes, etc. On observe ainsi des différences très importantes en termes de productivité entre les différentes régions, liées à divers facteurs tels que la fertilité des sols, la maîtrise de l'eau, les technologies dominantes, les accès aux intrants, l'efficacité des institutions, les conditions pédoclimatiques... Les principales zones de production de riz à Madagascar sont cartographiées sur la Figure 19 (données 2009) et les principales productions régionales fournies dans le Tableau 9 (2016-2017).



Figure 19 : Cartographie de la production de riz à Madagascar (Robin, à partir des données 2009)

Régions	Production régionale rizicole (t)	
	2016	2017
Diana	78 104	110 000
SAVA	130 035	145 000
Alaotra Mangoro	342 888	256 800
Menabe	108 211	145 000
Melaky	55 053	71 000
Boeny	129 782	150 000
Sofia	143 274	241 503
Analanjirifo	128 861	134 480
Atsimo Andrefana	139 370	143 000
Vakinankaratra	661 255	437 068
Bongolava	200 645	171 000
Itasy	377 243	136 530
Amoron'i Mania	135 534	126 000
Haute Matsiatra	222 726	141 954
Atsinanana	96 385	100 800
Vatovavy Fitovinany	115 085	146 381

Tableau 9 : Production de riz dans les principales régions (Source : Ministère de l'Agriculture, 2017)

Le riz est récolté dans un laps de temps très court, et peu de parcelles font l'objet d'une double récolte. Environ, 70% de la production est récoltée entre Avril et Juin, et 12% de Janvier à Mars. Mais il y a là aussi de fortes disparités entre les régions.

- Les « Vary aloha », « Vary asara » ou « Vary ririnina » se récoltent entre Janvier et Mars.
- Le « Vary jeby » (de la région Marovoay) se récolte entre Juillet et Septembre. Il constitue 67% de la production rizicole de cette région.
- Le « Vary vakiambiaty » qui représente plus de 91% de la production d'Alaotra, se récolte entre Avril et Juin.

Alors que dans les années 1970, la transformation du paddy était concentrée dans quelques grandes rizeries, la tendance depuis les années 1980-90 est à la multiplication des petites décortiqueries locales et au déclin des rizeries qui ne parviennent plus à s'approvisionner.

Au début des années 2000, plus de 40% des communes possédaient au moins une décortiquerie sur leur territoire. Les rizeries encore fonctionnelles sont installées dans les zones où la production est excédentaire, et dans certaines zones proches des grandes villes.

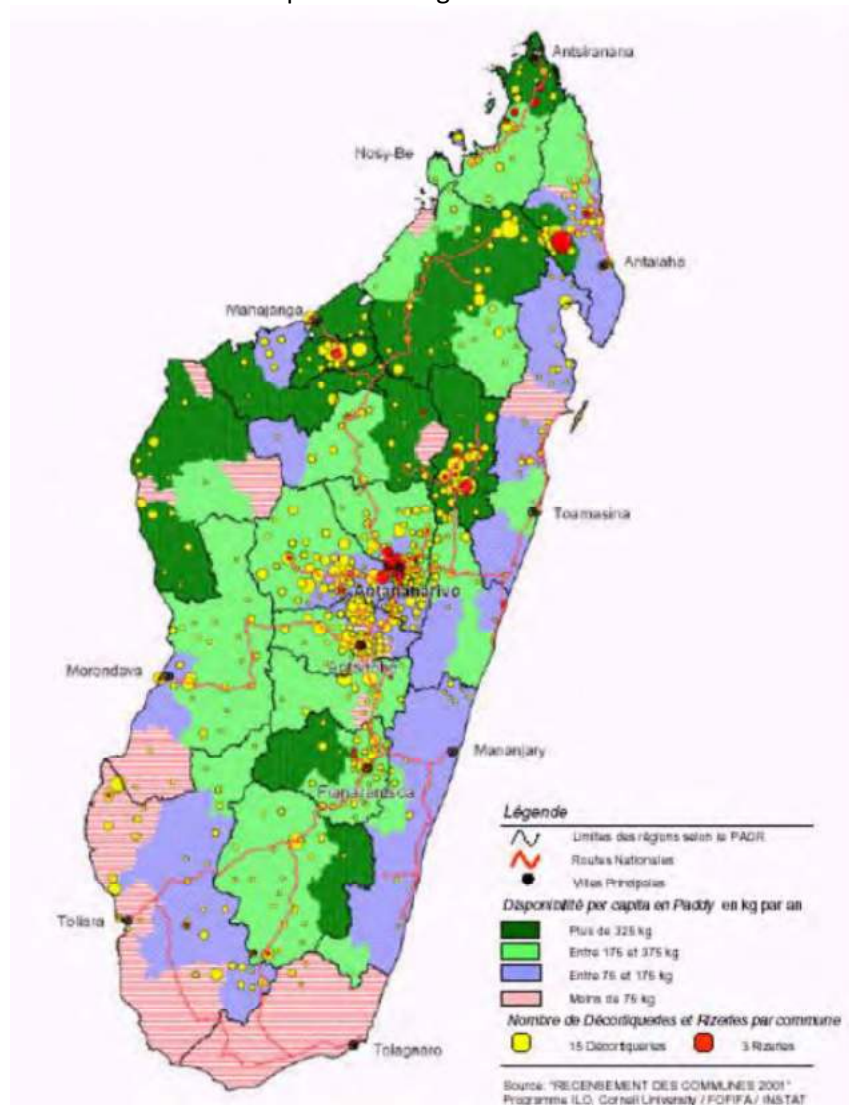


Figure 20 : Localisation des décortiqueries et rizeries à Madagascar (source ILO 2007)

3.1.1.2 Estimation du potentiel en paille de riz

- Potentiel théorique

Le ratio massique paddy sec/paille de riz est de l'ordre de 1/1,5 (source FAO).

➔ Le gisement théorique national de paille de riz (7% d'humidité) est estimé à 6 Mt/ an

- Accessibilité et potentiel mobilisable

Une grande part de la paille de riz reste au champ. Seule la partie supérieure est coupée et exportée, le chaume de 10 à 20 cm, reste au champ et participe à l'amendement organique du sol. On estime communément à 60% seulement la part de paille qui est effectivement récoltée avec le grain.

A Madagascar, les exploitations agricoles, en large majorité de petite taille, associent étroitement l'agriculture et l'élevage : les sous-produits de l'agriculture (pailles de riz, feuilles de maïs et de patate douce) sont valorisés au profit de l'élevage (nourriture, paillage), tandis que le fumier des animaux est utilisé comme principale ressource fertilisante.

Ainsi, à l'heure actuelle, la paille de riz est pratiquement utilisée à 100% :

- pour l'alimentation et la litière du bétail ;
- pour l'amendement organique en tant que constitutif du fumier ;
- comme matériau pour la construction des cases ;
- comme combustible d'appoint pour la cuisson des aliments ;
- une fois incinérée, comme fertilisant minéral.

➔ Pour ces raisons, le potentiel disponible pour une valorisation énergétique est aujourd'hui considéré comme nul.

3.1.1.3 Estimation du potentiel en balle de riz

- Potentiel théorique

A partir d'une tonne de paddy, on estime qu'environ 0,2 tonnes de balle de riz (9% d'humidité) sont produits (source FAO).

➔ Le gisement théorique de balle de riz est estimé à environ 0,8 Mt/an.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

La balle de riz est disponible au niveau des décortiqueries et des rizeries car les producteurs, les collecteurs et les grossistes y amènent leur paddy pour produire du riz décortiqué, et ce presque toute l'année avec un pic les premiers mois qui suivent la campagne de récolte de riz.

La balle de riz est principalement utilisée comme:

- combustible d'appoint dans les briqueteries.

Cette utilisation reste néanmoins saisonnière. A Ambositra (classé parmi les principales zones de production rizicole à Madagascar) par exemple, cette activité débute au mois de Mai (sitôt après la saison de pluie) et ne prend fin qu'à partir du mois de Novembre. Ainsi, la balle de riz, dans cette zone, pendant cette période risque d'être inaccessible, si non, en faible quantité.

- fumure minérale, après avoir été brûlée, soit directement (fort taux de potassium), soit après mélange avec du fumier.

La balle de riz peut également être utilisée, comme la litière animale, en mélange à l'argile pour les briques, ou encore comme lutte contre les insectes terricoles.

Une étude faite en 2014 dans la zone d'Ambatondrazaka (Gazull et al 2014) estimait à 50% la part disponible de balle de riz.

Le potentiel mobilisable à l'échelle nationale serait donc de l'ordre de 0.4 Mt/an

Toutefois la saisonnalité est un critère important qui doit bien être intégrés pour garantir un approvisionnement régulier et durable d'une centrale.

- La saisonnalité de la récolte : La balle de riz est disponible peu après la fin d'un cycle cultural. Généralement, 70% de la production nationale est moissonnée entre Avril et Juin, même si des variabilités régionales existent (évoquées plus haut). Des moyens de stockage adéquats devront être prévus.
- Saisonnalité des usages concurrents : Généralement, la balle de riz est gratuite, sauf durant la période d'enfournement de briques pendant laquelle les briquetiers s'apprêtent à s'en procurer à n'importe quel prix. Dans ce cas, la balle de riz risque d'être indisponible ou à cours de rupture de stock.

3.1.2 Les sous-produits de la production du maïs

3.1.2.1 Description de la filière et des pratiques

Le maïs est une culture vivrière essentiellement utilisée comme aliment de base et culture de soudure importante dans l'alimentation humaine, surtout pour la population du Sud de Madagascar. Il est également utilisé dans l'alimentation animale, dans l'industrie agro-alimentaire (brasserie, etc.). Le maïs est consommé sous plusieurs formes à Madagascar. Lorsqu'il est destiné à l'alimentation humaine, selon les régions et les consommateurs, le maïs est utilisé en produit frais ou vert, sous la forme de graines sèches décortiquées et cuites ou de graines sèches moulues sous formes de farine ou semoule (Source RuralStruc Phase II 2009)

Pour l'alimentation animale, il est utilisé sous la forme de graines transformées entrant dans la composition de la provende ; de sous-produits résidus de l'amidonnerie (sons, tourteaux et germes), de sous-produits de culture (tiges et fanes ensilées ou non), ainsi que comme maïs fourrage (plante entière récoltée au moment où l'épi est au stade pâteux et fourrage vert ensilé ou déshydraté).

Enfin, l'agro-industrie utilise le maïs comme ingrédient dans la fabrication de boissons (bière surtout). Il est aussi possible que les graines subissent une transformation industrielle pour la transformation en semoules (par mouture).

En 2017, 75% de la production de maïs auraient été écoulés sur le marché (vente), le reste allant aux différents usages à l'intérieur des ménages producteurs, tels que l'alimentation humaine, la semence et l'alimentation animale (source Enquête AGROBOXX, 2017). Les réseaux de commercialisation sont déjà organisés bien que peu structurés par des organisations formelles.

En superficie, la culture de maïs occupe la 3ème place après le riz et le manioc. Les grandes zones de culture sont localisées dans le Moyen-Ouest, les Hauts-Plateaux et le Sud-Ouest où se concentrent plus de 97% de la production totale. Elles occupent environ 250 000ha. La moitié de la production vient des 4 Régions suivantes : Vakinankaratra, Itasy, Atsimo Andrefana et Boeny (Tableau 10).

La production totale de maïs était de l'ordre de 550 000 t en 2017.

Tableau 10. Production de maïs pour la campagne pluviale 2016-2017 et la campagne baiboho 2017 (Sources : DRAE ou CCI)

Régions	Surface (Ha)	Production grains de maïs (T)	Source
Bongolava (Tsiroanomandidy)	80 000	120 000	DRAE
Vakinankaratra (Mandoto)	58 929	72 361	DRAE
Atsimo Andrefana (Morombe)	44 070	45 043	CCI
Itasy	39 734	90 920	DRAE
Matsiatra Ambony	18 360	26 623	CCI
Androy	17 105	11 641	CCI
Sofia (Mampikony, Port bergé)	15 000	25 603	DRAE
Boeny (Ambatoboeni)	14 190	30 523	CCI

Betsiboka	13 110	19 665	DRAE
Menabe	12 145	17 955	DRAE
Amoron'i Mania	11 866	22 533	CCI
Autres régions	45 603	73 240	CCI
TOTAL	370 112	556 107	

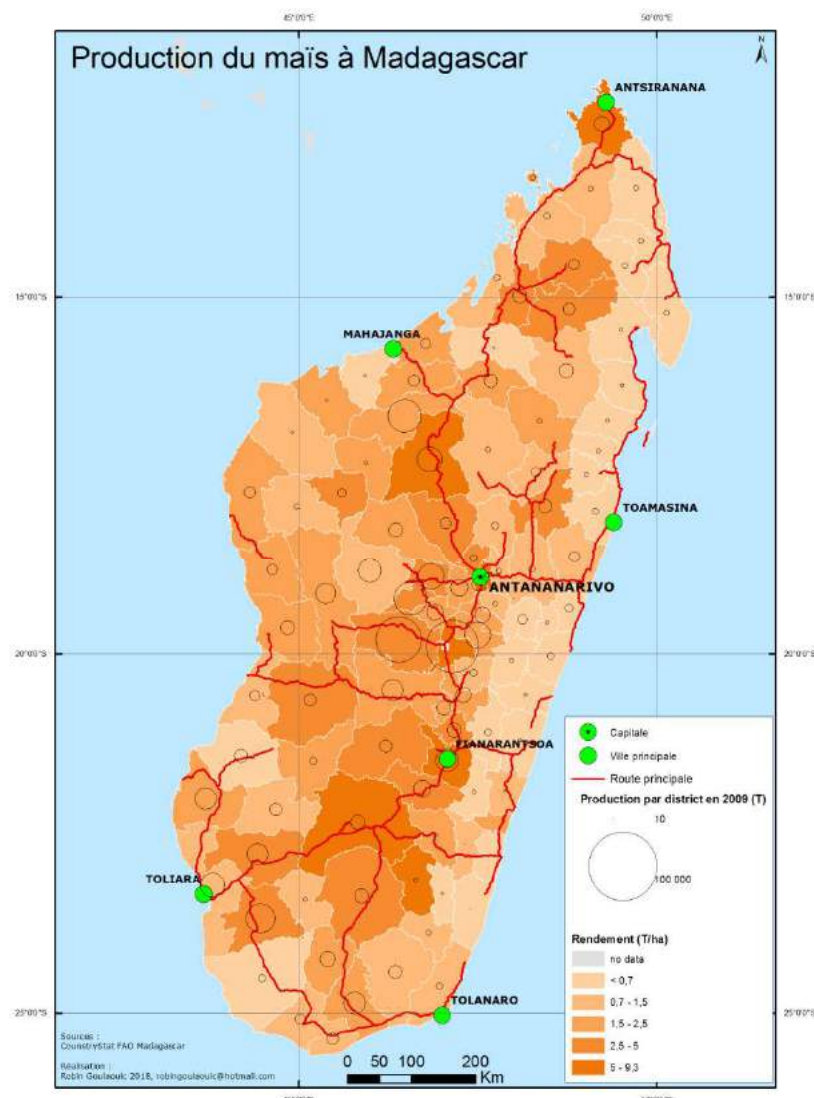


Figure 21 : Cartographie des productions de maïs à Madagascar (Robin)

Pour la Région Boeny, on observe deux saisons de maïsiculture: la culture Asara qui se fait pendant la saison pluvieuse c'est-à-dire à partir de Décembre et la saison Jeby à partir du mois d'Avril. Généralement, les Régions Atsimo Andrefana, Vakinankaratra, Androy, Menabe, Itasy, Sofia, etc. cultivent annuellement sur une seule période (Culture Asara).

Le Maïs est majoritairement cultivé au sein de petites exploitations familiales, sans apports d'intrants (engrais, fumure organique, semences améliorées) et avec des pratiques de cultures extensives. Le rendement moyen serait d'environ 1 tonne par hectare. Avec des apports de fumure minérale et l'utilisation de variétés améliorées, le rendement serait de 2 à 3t/ha. Le Maïs est également cultivé par quelques exploitations plus intensives de plus grandes tailles (environ 10 ha) et donnerait dans ce cas des rendements compris entre 8 et 10t/ha.

3.1.2.2 Estimation du potentiel en cannes de maïs

- Potentiel théorique

La production d'1 tonne de graines sèches de maïs est accompagnée en moyenne de 0,2 tonnes de rafles et d'1 tonne de tiges et de feuilles (source FAO).

Sur la base d'une production de 550 000 t de maïs, le gisement théorique est d'environ 110 000 t/an de rafles et 550 000 tMS/an de tiges et feuilles.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

Les rafles de maïs sont majoritairement récoltées manuellement avec les grains (récolte en épi) et sont rapportées à la ferme ou dans des lieux de stockage et de séchage avant utilisation. Les grains sont séchés sur épis, accrochés au plafond avec les spathes. Ils sont conservés soit sous forme d'épi, soit les épis sont placés dans un sac de jute et frappés à l'aide d'un bâton pour séparer le caryopse de la rafle. Les grains ainsi séparés sont conservés dans des sacs de jute avant d'être commercialisés.

Les rafles sont donc disponibles au niveau des fermes tout au long de l'année.

Les cannes, quant à elles, restent au champ où une partie est récoltée pour servir d'aliment pour bétail.

Par ailleurs, les cannes (tiges + feuilles) de maïs sont généralement utilisées en :

- Alimentation animale (malgré sa faible valeur nutritive) : par voie humide (ensilage), par voie sèche (paille composée de la tige, des feuilles et des spathes) ;
- Fertilisation organique (mulch, compost) ou minérale (après calcination) ;
- Litière pour le bétail et les autres animaux d'élevage ;
- Combustible d'appoint pour la cuisson des aliments.

Ainsi les résidus de culture du maïs sont très dispersés, au niveau des fermes ou des champs et sont très largement utilisés pour l'alimentation animale.

Pour ces raisons, le potentiel réel mobilisable est considéré comme nul. Néanmoins une étude complémentaire serait sans doute nécessaire pour analyser les possibilités de collecte des rafles au niveau des fermes.

3.1.3 Les sous-produits de la production de canne à sucre

3.1.3.1 Description de la filière et des pratiques

La canne à sucre est produite globalement sur tout le territoire de Madagascar, avec une part plus importante dans les régions de Nosy Be, Ambilobe, Morondava, Namakia, Brickaville. D'après les statistiques agricoles de 2002-03, 886.000 exploitations produisaient de la canne à sucre (toutes tailles et modes de production confondus), soit, 37% environ des exploitations agricoles malgaches.

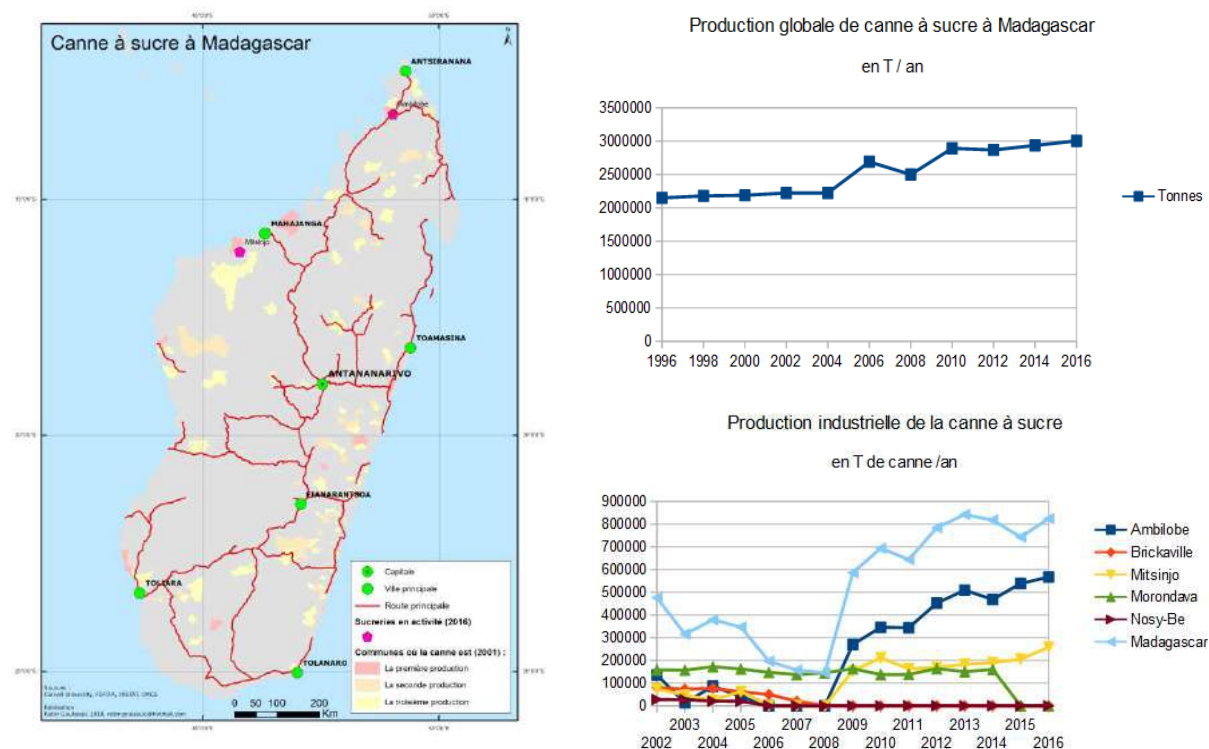


Figure 22 : Canne à sucre à Madagascar : (i) cartographie ; (ii) production nationale de canne à sucre (source FAO) ; (iii) production industrielle de canne à sucre (source Country Stat)

Selon FAOSTAT, la production nationale de canne à sucre (en frais) serait de 3 Mt en 2016, avec une productivité moyenne de l'ordre de 32 t/ha, soit une superficie de l'ordre de 90 000 ha. Mais ces chiffres correspondent à deux types de production

- 75% de production artisanale et décentralisée. Les pratiques culturales y sont exclusivement manuelles. Les paysans ne renouvellent que rarement leur plantation et ont de faibles rendements. La canne peut être vendue directement sur les marchés locaux comme canne de bouche. Certains planteurs la transforment en sucre et en alcool, de manière artisanale et informelle, et ces produits sont destinés aux consommateurs locaux.
- Seulement de 25% de production industrielle, en mode semi-intensif (planteurs situés dans les zones de production industrielle) ou en mode intensif et mécanisé (plantations en régie des unités sucrières).

La production des cannes au niveau des complexes sucriers varie en fonction des conjonctures socio-économiques et politiques qui prévalent dans le pays. Le secteur industriel a connu une crise importante au début des années 2000, en raison de difficultés financières des sociétés - incapables de rémunérer leurs fournisseurs, qui ont progressivement cessé de livrer leur production - ainsi qu'à l'obsolescence de certaines structures (voies de circulation, retard d'entretien des usines). Cette crise a entraîné l'arrêt des activités sur plusieurs sites (unité de Brickaville en 2007 et celle de Nosy Be en 2009) et une diminution globale de la production industrielle. Néanmoins, la production industrielle a repris, notamment sur les sites d'Ambilobe (Région Diana) et de Namakia (Région Boeny) qui sont les principales sucreries à ce jour. D'après les chiffres de CountryStat, la production industrielle serait de 800 000 t de canne traitée en 2016.

On retiendra donc en première approximation une production cannière annuelle de l'ordre de 3 Mt, dont 0,8 Mt sont issues de production industrielle.

3.1.3.2 Estimation du potentiel en paille de canne

- Gisement théorique

Faute de donnée précise sur les rendements en paille en contexte de plantation cannière à Madagascar, nous retiendrons en première approximation les rendements en paille estimés dans les contextes de la Réunion et de Maurice (de l'ordre de 0,15 tMS de paille pour 1t de canne fraîche récoltée), extrapolés à la production de canne à Madagascar. Il s'agit d'une hypothèse basse dans la mesure où une canne mal entretenue peut produire probablement plus de pailles.

Le gisement théorique total en pailles est ainsi estimé à 450 000 tMS/an dont 25% environ issues des productions industrielles.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

La récolte de la canne étant exclusivement manuelle à Madagascar, les pailles sont laissées au champ où elles participent à l'amendement organique. Contrairement à la bagasse qui est facilement disponible au niveau des unités de transformation de la canne, la paille de canne pour être valorisée doit être collectée dans les champs, transportée, déchetée. Ces opérations et transformations entraînent des coûts supplémentaires et une main d'œuvre importante. Actuellement à notre connaissance, aucune expérience de récolte manuelle des pailles n'a été expérimentée dans le monde.

Aussi le gisement mobilisable sans changement de pratique peut être considéré comme nul.

3.1.3.3 Estimation du potentiel en bagasse

- Gisement théorique

Sur la base des productions estimées et d'une teneur en bagasse de 30% (50% de MS) :

Le gisement théorique total en bagasse est de l'ordre de 900 000 tMB/an, soit 450 000 tMS/an dont 120 000 tMS/an issues des sucreries industrielles et 330 000 tMS/an des productions paysannes.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

A Madagascar, la bagasse se trouve au niveau des sucreries et des petites unités de transformation telles que les mini distilleries artisanales.

- Au niveau des sucreries industrielles, dont celles à Namakia (Région Boeny) et Ambilobe (Région Diana), une grande partie de la bagasse est déjà réutilisée pour le processus de fabrication du sucre et sert à produire de l'électricité pour l'usine et la cité ouvrière. La société SUCOMA est autonome en énergie durant la campagne sucrière. Une partie de la bagasse de l'année précédente est conservée pour la préparation de la campagne de l'année suivante. La chaudière et les turbines sont ainsi fonctionnelles à partir de Juin pour préparer la campagne qui va durer 5 mois et demi, de Juin à mi-Novembre. Pendant un mois, à partir de mi-Novembre, l'usine transforme la mélasse en alcool. Ainsi, la sucrerie utilise la totalité de la bagasse pour ses besoins énergétiques.
- Au niveau des petites unités de transformations telles que les mini distilleries artisanales, les bagasses sont très peu valorisées et généralement jetées. Rares sont les producteurs qui réutilisent la bagasse pour alimenter le feu de leur alambic ou comme alimentation animale. Elles sont donc potentiellement disponibles, mais difficilement accessibles et mobilisables en raison de l'organisation logistique à mettre en place pour les collecter, étant donné l'éparpillement de ces petites unités de transformations.

Le gisement aujourd'hui réellement mobilisable est donc très réduit et ne peut être précisément quantifié.

A plus long terme, la modernisation des installations industrielles (augmentation de l'efficacité) et les initiatives de relance de la production de canne à sucre à Madagascar pourraient augmenter significativement le potentiel. Madagascar bénéficie de nombreux atouts dans le secteur sucrier :

- Le Comité National de la Canne et du Sucre (CNCS) permet aux paysans de disposer d'un savoir-faire en matière de culture de canne à sucre. Ils sont mobilisables à des coûts compétitifs ;
- les deux sucreries investissent dans l'amélioration de leur système de production en vue d'augmenter la production et auraient la capacité technique de développer une activité compétitive et durable ;
- le marché local est en croissance mais dominé par le sucre importé moins cher, la production locale est plutôt destinée à l'export selon le quota des marchés préférentiels et où le prix serait plus attractif ;
- A signaler que Madagascar essaie de diversifier les produits de la canne à sucre en investissant dans la promotion de l'éthanol combustible. C'est ainsi une autre opportunité de valoriser les bagasses.

3.2 Biomasses d'origine forestière

3.2.1 Les forêts naturelles

Le couvert forestier représente un peu plus de l'ordre de 9,3 millions d'hectares, soit 15% du territoire (Figure 23). Près de la moitié des forêts malgaches sont constituées de forêts denses humides (4 658 155 ha en 2010) situées dans le domaine bioclimatique de l'Est. L'autre moitié, essentiellement constituée de forêts denses sèches (2 554 746ha) et de forêts épineuses (2 009 792ha), est distribuée sur les parties nord, ouest et sud du pays (ONE DGF, Mai 2013).

- L'exploitation actuelle des forêts naturelles

Le bois connaît actuellement 2 principales destinations :

- (i) Combustible pour la cuisson (environ 75%). 98% de la population malgache utilise la biomasse ligneuse sous la forme de bois de chauffe et de charbon de bois. La consommation annuelle en bois s'élevait, en 2015, à plus de 12,3 Mt, dont 56% de bois de chauffe et 44% en charbon de bois¹⁰.
- (ii) La construction et le bois d'œuvre (environ 25%).

¹⁰ Le secteur de l'énergie à Madagascar : enjeux et opportunités d'affaires, Service économique de l'Ambassade de France, août 2016



Figure 23 : Carte d'occupation du sol– Système d'Aires Protégées à Madagascar (source SAPM 2016)

Par ailleurs, les ressources forestières sont également impactées par le défrichement à des fins de conversion agricole et par les feux de brousse. Ces usages intensifs conduisent à un taux de déforestation estimé à 0,55% par an sur la période 2000-2005 (USAID). Des disparités importantes sont toutefois à observer d'une région à l'autre. Ainsi, sur 10 000 000 ha de forêts, 50 000 ha disparaîtraient chaque année. Les chiffres de l'ADEME sont plus pessimistes encore :

- prélèvement bois énergie : 100 000 ha /an
- défrichement pour conversion agricole : 350 000 ha /an
- feux de brousse (qui touchent également la forêt) : 650 000 ha/an

Dans ce contexte, les pouvoirs publics ont mis en place des politiques visant :

- à favoriser une gestion durable des ressources forestières (reboisement, incitations à l'investissement, délimitations territoriales et suivi de la filière, amélioration des techniques, implication des communautés) ;
- à étendre le Système des Aires Protégées (SAPM) en distinguant :
 - o Les Aires Protégées gérées par le SAPM
 - o les sites prioritaires en vue d'étendre le SAPM
 - o les sites Koloala (anciennement Sites de Gestion Forestière Durable – SGFD) référençant les zones forestières contrôlées et gérées durablement

Un point plus détaillé sur le cadre réglementaire relatif à l'exploitation des ressources forestières et au reboisement est fourni aux §2.3.4 et 2.3.5.

- **Gisement théorique**

L'exploitation forestière est illicite dans sa grande majorité, surtout pour ce qui est du bois d'œuvre et de construction. Il est estimé que plus de 60 % des produits commercialisés proviennent de prélèvements non contrôlés (Source USAID). Actuellement, seulement environ 20 000 ha de forêt font l'objet de permis de coupe légal. Ces permis fourniraient environ 200 000 m³ de bois/an. Les rémanents de cette exploitation légale pourraient être théoriquement collectés pour une production énergétique. On estime en général que pour 1 m³ de bois d'œuvre produit, 0.5 m³ de résidus sont potentiellement produits sur le site d'exploitation (houppier, branches).

Ainsi, le gisement théorique de rémanents récupérables légalement serait d'environ 100 000 m³ de bois.

- **Accessibilité et potentiel mobilisable**

En pratique, l'exploitation forestière légale est majoritairement manuelle et il est en l'état difficile et coûteux de sortir les résidus de la forêt pour alimenter une éventuelle filière énergétique

Aussi, le potentiel réel mobilisable à court terme est considéré comme nul.

Les opportunités consisteraient à développer un cadre réglementaire permettant une gestion légale et durable des ressources forestières aux abords des petits centres urbains susceptibles d'être électrifiés.

Une telle expérience a été tentée par le CIRAD en 2014 (projet BIOENERGELEC) autour du village de Manerinerina dans la Région Boeny. Un plan de gestion durable des ressources en Ziziphus a été établi pour alimenter une centrale. Mais rapidement, cette exploitation a subi la concurrence du marché du bois-énergie ce qui a eu pour conséquence : i) d'augmenter le prix du bois rendant la production bioélectrique moins rentable que son équivalent au gasoil et surtout, ii) de rendre l'approvisionnement de la centrale impossible à partir de la ressource bois (Lepinay et Al 2016).

Les besoins en bois-énergie sont tels à Madagascar qu'il semble difficile voire impossible actuellement d'envisager un autre usage énergétique du bois des forêts naturelles.

3.2.2 Les plantations forestières

Les essences forestières les plus implantées sont l'Eucalyptus et le Pin. Elles se caractérisent par de bons rendements à l'hectare (de l'ordre de 10 à 20 m³/ha/an), et sont largement répandues sur le territoire. Les surfaces effectives de plantations sont toutefois assez mal connues. Elles peuvent être estimées à 300 000 ha (50% pin, 50% eucalyptus) (source USAID-JARIALA 2007). Mais il s'agit pour la grande majorité de petites plantations privées de 1 à 10 ha (plantations villageoises ou paysannes).

Néanmoins, deux grandes plantations industrielles sont recensées sur l'île : les plantations du Haut-Mangoro (65 000 ha de pins environ), situées dans la région de Moramanga à 250 km du port de Tamatave ; et les plantations de la Haute Matsiatra (30 000 ha de pins environ) situées dans la région de Fianarantsoa.

En dehors de ces périmètres industriels à vocations de bois de sciage et de trituration, la principale utilisation de bois de plantation est la production de charbon de bois pour la satisfaction des besoins énergétiques domestiques des urbains et des ruraux.

A cet effet, plusieurs initiatives de reboisements significatifs sont également à signaler. On peut notamment citer les objectifs annoncés par les projets suivants :

- WWF : plantations d'arbres pour le bois de feu, sur des zones très dégradées, notamment près des zones urbaines. Surfaces prévues de 3 000ha: Andapa 20ha, Vondrozo 70 ha,

Ivohibe 80 ha, Fandriana et Marolambo 200 ha, Taolagnaro 100 ha, Forêt épineuse 2 400 ha ;

- Le Programme ASA, financé par l'Union européenne, accompagne l'installation de 240 pépinières dans l'objectif de produire 16,5 millions de jeunes plants et de planter 9 200ha de nouvelles plantations de bois énergie dans les Districts d'Anjozorobe, Andramasina, Ambohidratimo, Antananarivo Atsimondrano et Ankazobe de la Région Analamanga ainsi que le District d'Arivonimamo dans la Région Itasy;
- Le Programme d'Appui à la Gestion de l'Environnement financé par la Coopération allemande, en 2016, prévoit 9 700 ha de reboisements par les communautés villageoises, à Antsiranana.

L'avancement effectif de ces programmes est incertain. Ils confirment néanmoins que la priorité des programmes de reboisement est donnée à la fourniture de bois de feu ou de charbon.

- **Gisement théorique**

Sur la base d'une production durable à partir des plantations villageoises, paysannes et industrielles (Eucalyptus + pin) (300 000 ha) et en considérant une productivité moyenne de 15m³/ha, on peut en première approximation estimer que le gisement théorique serait de 4.5 millions de m³/an.

- **Accessibilité et potentiel mobilisable**

Comme rappelé précédemment, la très grande majorité des plantations sont destinées à la production de bois-énergie domestique. Pour donner un ordre de grandeur, le gisement théorique des plantations ne correspond approximativement qu'à 50% de la demande urbaine en charbon de bois.

Seuls les rémanents d'exploitation de bois d'œuvre issu des plantations industrielles seraient a priori disponibles : bois déclassés, petites branches... Mais là encore, les filières bois-énergie exploitent déjà ces rémanents/

Aussi, le potentiel réellement mobilisable issu des plantations est considéré comme nul.

Seules, de nouvelles plantations dédiées aux centrales sont envisageables. Mais comme pour la forêt naturelle, un tel développement ne serait possible qu'à condition que le prix offert aux producteurs soit au moins égal à celui du marché du bois de feu ou du charbon.

3.2.3 Les résidus de scieries

Les volumes de résidus de scieries, constitués de copeaux de bois et de sciures, peuvent être estimés entre 40 à 70% du bois brut équarri.

Les résidus de scierie présentent l'avantage d'être facilement mobilisables et concentrés sur des sites accessibles. Cependant, l'évaluation du gisement potentiel des résidus de scieries dépend d'une part de l'identification et de la localisation des scieries, et d'autre part des volumes exploités.

Par ailleurs, les résidus de scierie sont déjà donnés ou vendus aux ménages les plus modestes comme source de combustible.

Faute de données relatives à ces exploitations, le gisement ne peut être évalué.

3.3 Biomasses d'origine urbaine

Le potentiel en déchets verts ligneux n'a pas été évalué étant donné qu'aucun service de ramassage n'est actuellement mis en place, hormis quelques possibles initiatives isolées.

3.4 Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses

Le Tableau 11 présente une synthèse AFOM des potentiels de chaque ressource.

La balle de riz offre assurément la meilleure opportunité de valorisation en bioélectricité à Madagascar en raison de l'important gisement disponible et de l'existence d'une forte concentration de production et de rizeries/décortiqueries au niveau de quelques Régions telles qu'Alaotra Mangoro et Boeny. Même si une certaine concurrence d'usage saisonnier a été observée, elle reste relativement disponible tout le long de l'année à partir du mois d'Avril-Mai et pourrait alimenter une centrale à biomasse. En plus, la demande en riz est en hausse continue en raison de la croissance démographique, qui pourrait inciter à accroître encore la production rizicole malgache et donc, le potentiel en balle de riz. Les expériences antérieures de valorisation en bioélectricité témoignent de la possible commercialisation de la BdR par les producteurs ou les riziers aux exploitants à la longue.

Les autres types de biomasse : rafles de maïs, cannes de maïs, bagasse, biomasses forestières trouvent déjà une utilisation locale (au niveau des paysans et des industries), ou bien leur collecte constitue un défi logistique énorme. Ainsi, leur valorisation en bioélectricité n'est pas encore envisageable à court terme. Néanmoins, le développement de la culture de la canne à sucre dans les Districts comme Namakia et Ambilobe, pourrait permettre d'espérer un surplus de production de bagasse au niveau des sucreries et des unités de distillation de ces localités, permettant la possibilité d'orienter l'excédent vers la bioélectricité afin d'électrifier les Communes rurales autour de ces plantations.

Par ailleurs, les déchets des scieries constituent un candidat potentiel pour la bioélectricité, notamment dans la localité de Moramanga. Néanmoins, les données statistiques manquent pour évaluer ce potentiel. En plus, l'industrie du bois formel est relativement tributaire de plusieurs paramètres : la réglementation en matière de délivrance de permis de coupe, la concurrence avec les informels compromettant leur rentabilité. Ces faits aboutissent ainsi à une fluctuation du volume de leur activité qui va également influencer l'approvisionnement régulier d'une centrale à biomasse. Les expériences antérieures en matière d'exploitation de centrale à biomasse (bois) permettent de tirer la leçon suivante : mettre en place une plantation forestière et la gérer en régie constitue le meilleur moyen de sécuriser l'approvisionnement en bois d'une centrale à biomasse de ce type.

Enfin il convient de rappeler que cette évaluation ne se veut pas exhaustive et qu'il est tout à fait possible, que localement, une ressource spécifique suscite un intérêt en vue d'une valorisation en bioélectricité si le contexte est favorable. Dans ce cas, une démarche similaire devrait être appliquée.

Tableau 11 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - **Madagascar**

	Gisements théoriques estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Paille de riz	6 000 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée Déjà largement exploité		
Balle de riz	800 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée dans certaines régions	Concentration de la production dans les rizeries et décortiqueries	Déconcentration progressive des rizeries et décortiqueries
Rafles de maïs	110 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée Déjà largement exploité		Production déconcentrée
Tiges et feuilles de maïs	550 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Ressource au champ Déjà largement exploité		Production déconcentrée
Bagasse (canne à sucre)	900 000 T	Culture importante et historique	Entièrement utilisée pour le fonctionnement des usines Secteur vétuste	Volontarisme autour de la production d'électricité et de relance du secteur	Secteur industriel fragile
Plantations forestières	4 500 000 m3	Bonne productivité, bonne connaissance de la ressource	Utilisation pratiquement exclusive pour le bois énergie	Gestion durable du territoire	Petites exploitations; production déconcentrée
Forêts naturelles	100 000 m3	bonne connaissance de la ressource	Déjà surexploitées Très peu d'exploitation légale	Gestion durable du territoire	Déforestation
Déchets de scieries	?	40 à 70% de déchets	Faible ressource		Petites exploitations; production déconcentrée

4 L'Ile Maurice

4.1 Biomasses d'origine agricole : canne à sucre

4.1.1 Description de la filière et des pratiques

Si la canne à sucre est historiquement la culture dominante à Maurice, la filière sucre est mise en grande difficulté par les conséquences de la Réforme de l'Organisation Commune du Marché européen du sucre et par la baisse du cours international du sucre. Ces événements ont engendré une perte de compétitivité, se traduisant par l'abandon d'une partie des terres (notamment par les petits planteurs) et une diminution progressive de la production, à raison de 1000 ha/an sur la période 2012-2017.

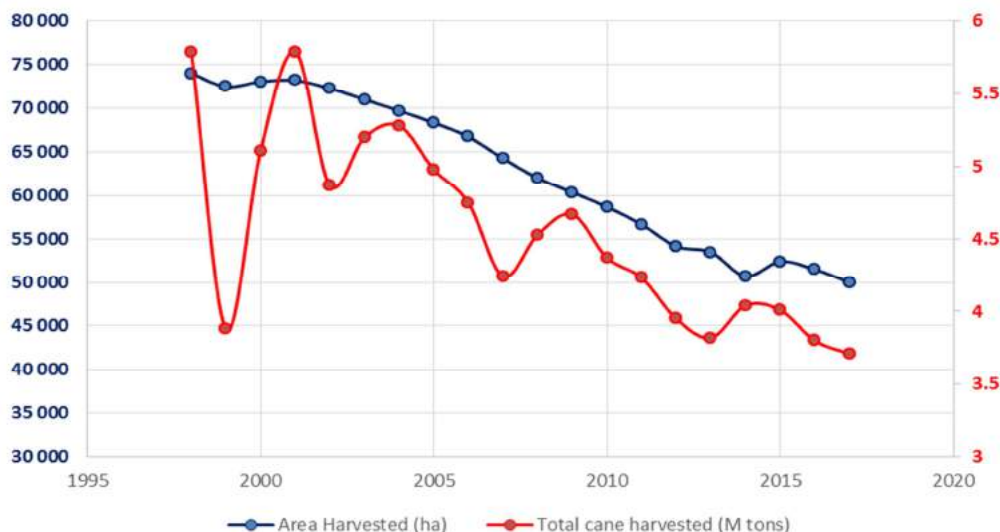


Figure 24 : Evolution de la superficie (récoltée) et de la production de canne à sucre [20]

Aujourd'hui, la canne à sucre occupe toujours près de 90% de surfaces agricoles de l'île, et constitue 25% des revenus du commerce extérieur. La surface aujourd'hui récoltée est d'environ 50 000 ha répartis sur pratiquement toute l'île (Figure 25). Les rendements moyens sont d'environ 74 t/ha/an. Les moins bonnes parcelles donnant moins de 60t/ha/an et les meilleures plus de 100t/ha/an. Plus de 70% des surfaces plantées ont un rendement supérieur à 70t/ha/an.

Environ la moitié (25 000 ha) des surfaces sont exploitées par des sociétés sucrières et de gros planteurs, sur lesquelles la récolte est mécanisée. Les surfaces cannières restantes sont occupées par de petites et moyennes plantations où la récolte reste manuelle. Si les grandes sociétés sucrières semblent susceptibles de traverser la crise actuelle, il n'en est pas de même pour une bonne part des petits planteurs, et en l'absence de solutions alternatives, le risque est grand de voir d'importantes surfaces cannières passer en friche.

Il semble ici important de souligner que les estimations de gisements liés à la production cannière sont indicatives et que l'abandon massif de la culture de canne aura un impact considérable sur le gisement de biomasse mobilisable.

Productivité de la canne à l'île Maurice

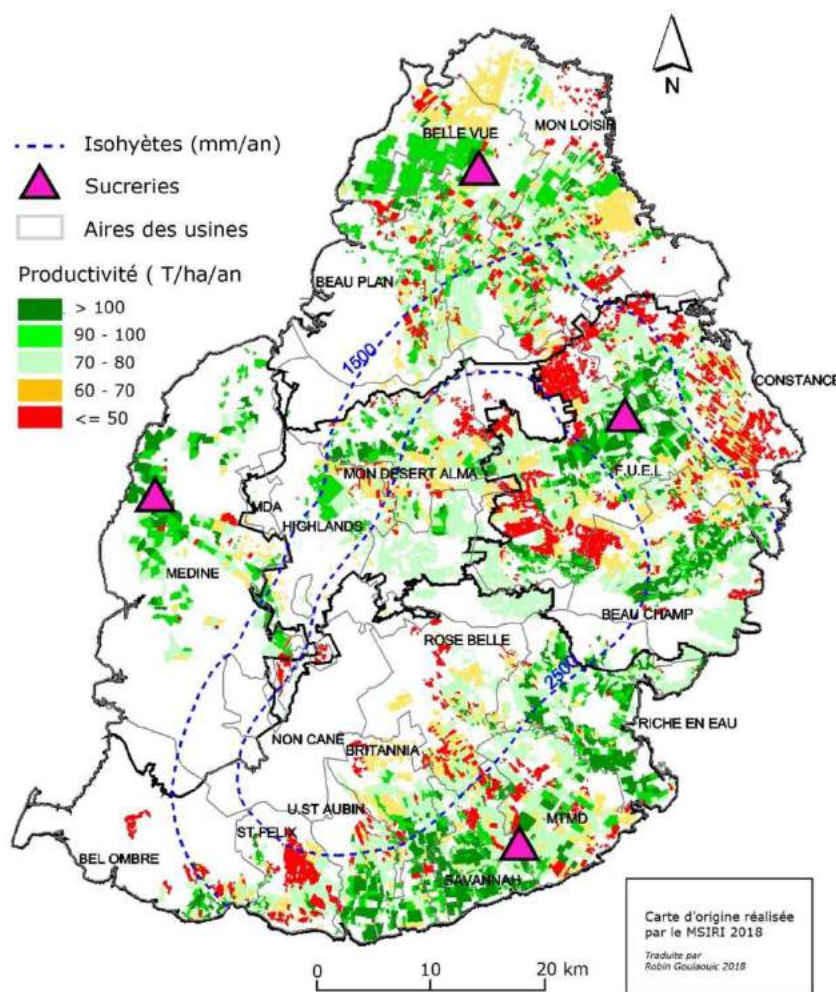


Figure 25 : Productivité dans les différentes zones cannières (source MSIRI 2018)

4.1.2 La paille de canne

- Gisement théorique

La quantité de paille disponible après récolte varie entre 10 et 16 tMS par hectare, selon la variété, le type de coupe (mécanique ou manuelle) et le cycle de plantation. On peut estimer une moyenne à l'échelle de l'île autour de 12 tMS/ha [20].

Le gisement total de paille de canne sur l'île Maurice est donc évalué à 600 000 tMS/an.

- Usages, contraintes techniques et agronomiques

A l'heure actuelle, la paille de canne n'est pas valorisée à Maurice. Cela tient notamment au coût élevé du ramassage, du séchage et du transport.

Les contraintes techniques et économiques liées à la récolte sont telles que seules les parcelles déjà mécanisées sont considérées comme disponibles au ramassage de la paille de canne.

Afin de préserver le maintien des activités biologiques du sol, lutter contre l'érosion, les adventices et préserver la fertilité des sols, une quantité suffisante de matière organique doit rester au sol. La fraction de paille nécessaire à une gestion durable des sols reste incertaine, mais les évaluations concernant les gisements de paille disponible à Maurice tablent sur 50%.

- Potentiel disponible

En considérant (i) que seules les surfaces mécanisées sont disponibles (25 000ha) et (ii) que la moitié des pailles produites restent au sol afin d'assurer un couvert végétal,

on peut estimer la quantité de pailles disponibles à 125 000 tMS/an

Parmi ce gisement disponible, on trouve :

- 100 000 t de paille « de bonne qualité » pouvant être brûlée telle quelle dans les chaudières à bagasse existantes
- 25 000 t de paille de qualité inférieure : pailles humides et terreuses issues des récoltes sous pluies, et nécessitant un traitement (nettoyage et séchage) avant la combustion. Ce gisement engendre des coûts supplémentaires (25 à 50% supplémentaires) par rapport au gisement de paille de bonne qualité (coûts de collecte et dépenses additionnelles de prétraitement)

Cette estimation considère un changement des pratiques agricoles et industrielles, et donc que les acteurs concernés trouvent un avantage à cette opération. Cela dépendra de sa question du prix d'achat de la biomasse, ainsi que des coûts des opérations de récolte et de transport.

A signaler qu'à l'appui des travaux de TERRAGEN avec le MSIRI, les technologies de collecte, de transport et de transformation de la paille de canne comme combustible pour les centrales thermiques à bagasse sont maîtrisées.

4.1.3 La bagasse

- Gisement théorique

En raison de l'abandon progressif de la culture cannière, le gisement de bagasse à l'île Maurice est tendanciellement en baisse. Néanmoins, on peut estimer, pour une production globale avoisinant les 4 000 000 t de canne à l'échelle de l'île, un gisement de bagasse théorique de l'ordre de 600 000 tMS/an.

- Usages et potentiel disponible

L'intégralité de la bagasse est aujourd'hui valorisée dans 3 centrales bagasse-charbon liées à des usines sucrières, ainsi que dans une petite centrale (Médine) fonctionnant uniquement à la bagasse.

Par conséquent, aucun gisement supplémentaire de bagasse n'est considéré comme disponible.

Le seul moyen d'augmenter la production de bagasse serait d'exploiter des variétés de canne plus riches en fibres ("canne mixte" ou "canne énergie"). A taux de saccharose équivalent, une canne mixte contient environ 2% à 4% de fibres en plus que les variétés commerciales actuelles. Des cannes mixtes sont actuellement en cours d'évaluation sur Maurice (variétés R585 et M 1672/90).

Leurs rendements sont encore en cours d'élaboration, mais en supposant qu'elles aient des rendements équivalents aux cannes actuelles (85t/ha/an en moyenne), on pourrait disposer d'un **potentiel supplémentaire de bagasse disponible de l'ordre de 20 000 tMS/an.**

4.2 Biomasses d'origine forestière

Les forêts couvrent 25% du territoire de Maurice, soit environ 47 066 ha (2016) dont 22 066 ha sont détenus par l'Etat et 25 000 ha sont détenus par des propriétaires privés.

- Les forêts de l'Etat se répartissent en 12 000ha de plantations (essentiellement pin), environ 8 000 ha de réserves naturelles et 2000 ha terres non productives.
- Les forêts privées sont constituées essentiellement de peuplements dégradés peu riches en bois soumis à de fortes pressions foncières.

Type de forêts	Surface
Forêts d'Etat	
Plantations (Pin, Eucalyptus)	12 000 ha
Forêts naturelles protégées	8 000 ha
Terres non productives	2 000 ha
Forêts privées	
Forêts naturelles protégées	6 500 ha
Terres forestières en majorité dégradées (pâtures, broussailles)	18 500 ha

- Enjeux liés au secteur forestier de Maurice

La politique forestière de Maurice (2006) relève plusieurs enjeux d'importance :

- Le secteur forestier est soumis à des pressions d'acteurs divers souhaitant tirer profit de la forêt (tant économique que récréatif). Jusqu'à présent, les enjeux politiques, économiques et sociaux ont eu un impact négatif sur le secteur forestier. Une bonne gestion est nécessaire afin de permettre les activités liées au secteur forestier tout en protégeant celui-ci.
- En raison de l'augmentation de la valeur foncière, les propriétaires de forêts privées seraient plus enclins à convertir leurs forêts (écotourisme, immobilier) plutôt qu'à les gérer durablement via des activités de bûcheronnage.
- Il ne reste plus aujourd'hui que 2% de forêt endémique, en raison de 3 siècles de déforestation liée aux diverses activités humaines sur l'île.
- Les surfaces forestières dégradées ont été replantées avec des espèces exotiques à croissance rapide qui forment aujourd'hui le gros de la couverture forestière. Ces plantations ne produisent que peu de bois, mais jouent un rôle vital pour la conservation des sols et des ressources hydriques
- L'exploitation forestière sera amenée à disparaître progressivement, et ne plus laisser place qu'à une activité d'entretien et de soin des espaces forestiers
- A l'avenir, la politique forestière visera à l'acquisition de forêts privées considérées d'intérêt national, à l'extension des zones de conservation, à la préservation des écosystèmes forestiers et au remplacement des espèces exotiques invasives par des espèces endémiques.

- Déforestation

La déforestation sur Maurice est aujourd'hui minime.

4.2.1 Les résidus de l'exploitation en forêt naturelle

La majeure partie des forêts naturelles détenues par l'état sont des espaces protégés, réserves naturelles et des Parcs nationaux, soit environ 8000 ha.

Les forêts privées comptent également 6500 ha de réserves (montagnes et rivières) protégées par la loi. Les forêts privées non protégées sont peu riches en bois. Les forêts naturelles de Maurice ne sont actuellement pas exploitées. Le bois local ne provient que des plantations existantes.

LEGEND	MAJOR LAND USE	AREA (Ha)	% TOTAL
SUGAR CANE OTHER CROPS LIVESTOCK PRODUCTION (POULTRY, FODDER)	AGRICULTURE	77418	41.5
ABANDONED SUGAR CANE LAND	ABANDONED SUGAR CANE LAND	1468	0.8
RESERVES (MOUNTAIN & RIVER) WASTE LAND ROCK HEAP LEISURE (BEACH, PUBLIC GARDEN, ETC)	FOREST, SHRUB, RANGE AND GRAZING LAND	68946	37.0
WATER BODY & MARSH	INLAND WATER RESOURCE SYSTEM	2719	1.5
BUILT-UP AREA	BUILT-UP AREA	28070	15.1
HIGHWAY MAIN ROAD SECONDARY ROAD PIVOT PARKING	INFRASTRUCTURE	7879	4.2
TOTAL AREA (Ha)		186500	100.0

Source: Chung Tze Cheong, M., et al., (2011). 2010 Land use of Mauritius. Occasional Paper No. 41. MSIRI, Reduit. 2011. 22 pages.
© MSIRI, 2011.

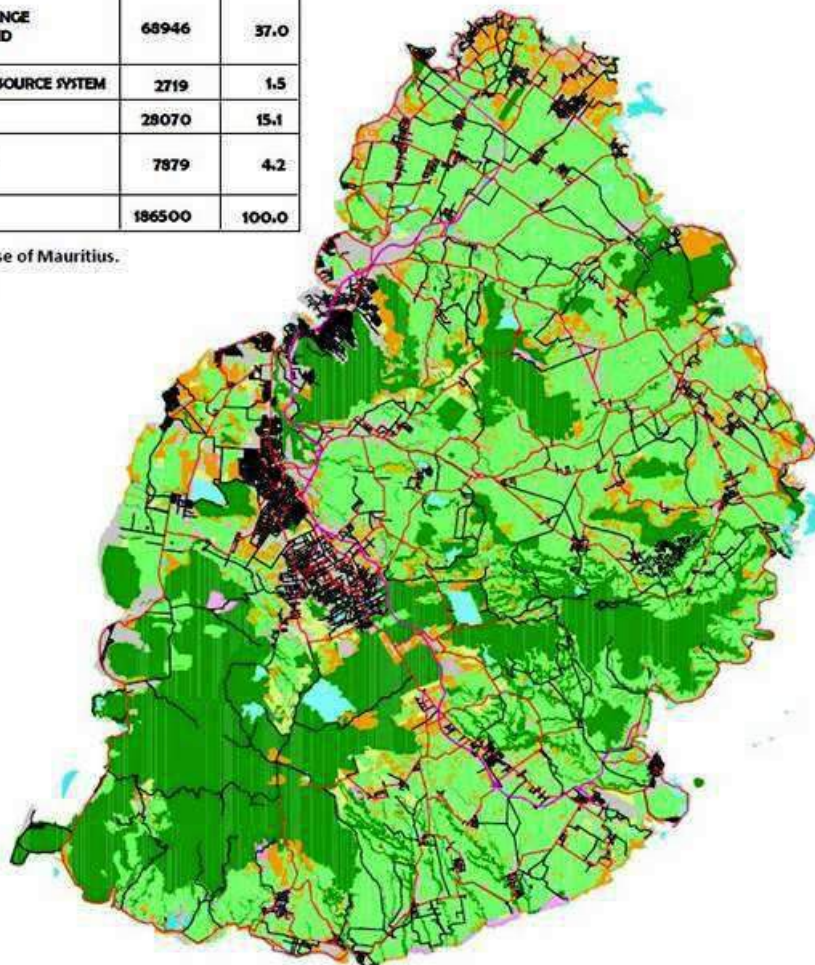


Figure 26 : Land use of Mauritius (Chung *et al.*, 2011)

4.2.2 Les plantations forestières

12 000 ha de plantations sont détenus par l'Etat, détaillés dans le tableau ci-dessous :

Essences	Surface (ha)
Pinus elliottii	8 105
Cryptomeria japonica & Araucaria cunninghamii	1 637
Eucalyptus and Casuarina	1 402
Autre bois d'œuvre	868

Les plantations privées sont très rares et ne fournissent plus de bois. Des projets de plantations d'eucalyptus à des fins de valorisation énergétique sont évoqués, mais sans plus de précisions quant à leur aboutissement.

- Production

Maurice ne produit qu'environ 30% de ses besoins en bois. Les 70% restants sont importés, essentiellement de Madagascar. Comme évoqué précédemment, la politique forestière de l'île vise à progressivement abandonner l'exploitation de la forêt et de pourvoir à la consommation nationale de bois via des circuits d'importation.

En 2016 la production totale de bois à partir des plantations existantes était de 6 511 m³, répartie comme suit :

- Bois d'œuvre : 1 155 m³
- Poteaux : 178 m³
- Bois de chauffe : 5 178 m³

Les chiffres montrent une nette diminution de la production globale depuis 10 ans (13 952 m³ en 2007), principalement due à une chute de la production de bois d'œuvre (5 332 m³ en 2007).

Les rémanents (ou bois connexes) de cette exploitation ne sont pas connus mais on peut néanmoins estimer qu'ils sont au moins égaux à 50% du volume de bois sorti des plantations, soit environ 3 000 m³/an.

- Usages

Le bois d'œuvre et de service est vendu à des revendeurs enregistrés auprès du Forestry Service. Il existe par ailleurs plusieurs scieries, décrites ci-après.

Le bois de chauffe est principalement dédié à un usage domestique.

Les rémanents ne sont a priori pas utilisés et on peut estimer à **3 000 m³/an la ressource en bois connexe disponible**

4.2.3 Les déchets de scieries

Il existe plusieurs scieries à Maurice :

- Une grande scierie employant 120 personnes, dont les activités s'étendent à l'expertise, l'extraction, et la préservation des bois
- Trois scieries moyennes et une trentaine de petites scieries réparties sur l'île, employant au total environ 170 travailleurs.

Il n'existe pas de données disponibles quant au gisement potentiel de produits connexes non valorisés au sein de ces scieries. Néanmoins, en supposant un taux moyen de déchets de 45%,

Environ 500 m³ de déchets bruts seraient théoriquement produits, soit une ressource potentielle de 400 tMB/an.

L'utilisation de ces déchets n'est pas connue à ce jour.

4.2.4 L'exploitation des espèces invasives

Certaines espèces exotiques sont identifiées comme envahissantes pour la végétation endémique :

- Le Goyavier de Chine (*Psidium cattleianum*)
- Le Troène de Ceylan (*Ligustrum robustum*)
- La Liane cerf (*Hiptage benghalensis*)

Il n'existe pas d'évaluation de gisement des espèces exotiques envahissantes. Elles sont considérées comme présentes en grande quantité dans les parcs nationaux et autres zones protégées, causant d'importants dommages aux espèces indigènes et à la biodiversité.

Des activités de défrichement de ces espèces invasives, conformément aux objectifs de la politique forestière, pourraient à la fois contribuer à la préservation des forêts naturelles et prodiguer une source non négligeable de biomasse ligneuse pour valorisation énergétique.

Les difficultés d'accès et la dispersion de ce gisement seraient toutefois des freins à sa valorisation.

4.3 Résidus urbains : déchets verts

Le potentiel de valorisation des déchets verts est considéré comme très élevé. Cela particulièrement en cas de cyclone, où la masse végétale à collecter est considérable.

Cette biomasse peut être collectée pendant les activités d'entretien des espaces verts, rues, cours privées et sur les terrains en friche

Mais sur Maurice, les déchets verts sont actuellement mélangés aux déchets municipaux, et des études concernant ce gisement manquent.

En prenant exemple de la gestion des déchets verts à la réunion, il ressort que :

- L'utilisation principale des déchets verts est la fabrication de compost utile à l'agriculture.
- Les résidus ligneux (appelés aussi refus ligneux) représentent environ 40% des déchets collectés.

En première approche on peut considérer que 40 % des flux de déchets verts sont constitués de matière ligneuse pouvant être utilisée à des fins énergétiques.

En l'absence de données, il n'est pas possible d'évaluer le potentiel théorique de déchets verts ligneux (menu bois) sur l'île. En revanche, en partant des observations faites sur l'île de La Réunion, on peut estimer qu'en développant des circuits de collecte adaptés (porte à porte + déchetteries), il serait possible de collecter environ 140 kg de déchets verts/hab/an, dont 40% pourraient être utilisés pour la production électrique.

Le potentiel mobilisable serait donc de l'ordre de $1.26 * 0.4 * 0.14 = 70\,560 \text{ tMB/an}$ ($35\,280 \text{ tMS/an}$) sur l'ensemble de l'île.

4.4 Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses

Le potentiel de bagasse est logiquement le plus important, mais déjà complètement valorisé. Il est susceptible de diminuer si la production de canne continue à diminuer au rythme actuel.

En termes de ressources nouvelles, le plus gros potentiel mobilisable à court terme est la paille de canne, avec un potentiel estimé à 100 000 tMS/an voire 25 000 de plus si la paille de qualité inférieure est comptabilisée. La force de cette filière tient au fait que les technologies de collecte, de transport et de transformation de la paille de canne comme combustible pour les centrales thermiques à bagasse sont maîtrisées.

A court terme également, le potentiel de la fraction ligneuse des déchets verts est intéressant, sous réserve qu'une collecte et des moyens de tri/préparation efficaces soient mis en place.

Concernant la situation des plantations ligneuses existantes est incertaine. Il semblerait que le potentiel à court terme soit limité, mais des opportunités pourraient émerger.

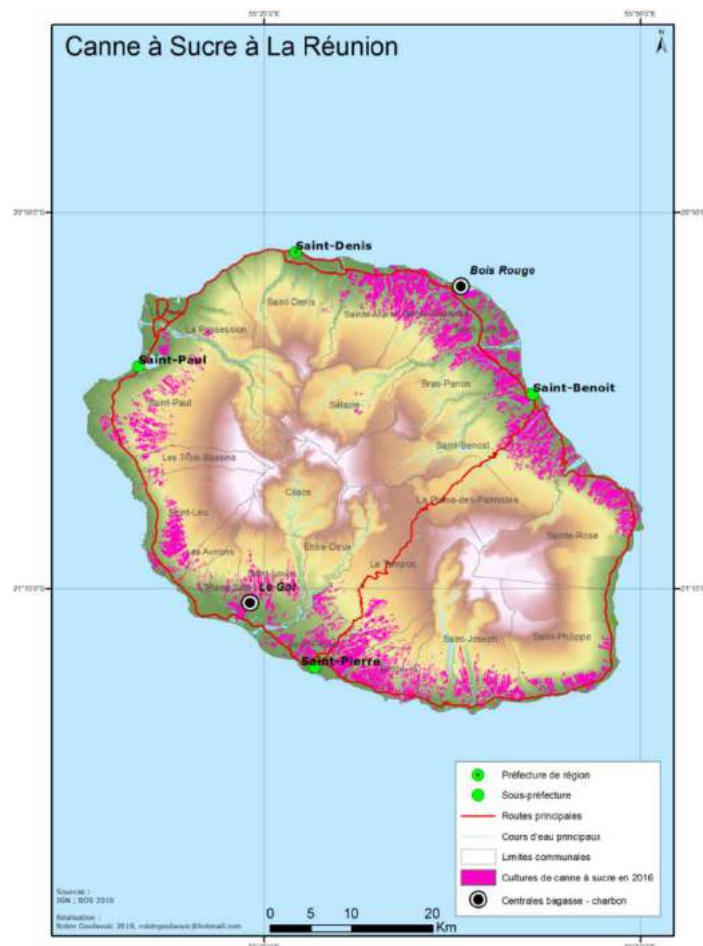
Tableau 12 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - **Maurice**

	Gisements théoriques estimés	Gisements disponibles estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Paille de canne à sucre	600 000 tMS/an	125 000 tMS/an	Canne, culture dominante de l'île : gisement important de biomasse non valorisé Usines bagasse déjà en activité pouvant valoriser les pailles Itinéraires techniques déjà testés et validés	Lié au maintien de la filière cannière	Source de revenus supplémentaire pour les producteurs	Coûts de valorisation Gestion durable des sols
Bagasse	600 000 tMS/an	0	Canne, culture dominante de l'île Filière sucrière moteur de la valorisation des coproduits	exploitée à 100 % Lié au maintien de la filière cannière	Source de revenus supplémentaire pour les sucriers	Pertes de surfaces cultivées en canne
Forêts naturelles	0	0	Bonne productivité des forêts, gisement important Nécessité de lutter contre les espèces exotiques invasives	14 500 ha protégés Politique forestière qui envisage de ne plus exploiter les forêts Difficulté d'accès et dispersion des gisements	Gestion durable du territoire	Dégradation des écosystèmes forestiers
Plantations forestières	3 000 m3/an	3 000 m3/an	Bonne productivité	Usages existants Menaces sur plantations privées par prix du foncier Politique forestière qui envisage de ne plus exploiter les forêts	Gestion durable du territoire Source de revenus supplémentaire pour les exploitants Intégration de nouvelles essences à croissance rapide	Dégradation des écosystèmes forestiers
Déchets de scieries	400 tMB/an	?	Plusieurs scieries implantées sur Maurice	Usages existants ?	Source de revenus supplémentaire pour les scieries	
Déchets verts	?	35 280 tMS/an	Gisement important	Gisement mélangé à l'ensemble des déchets collectés	Diminution des déchets à traiter par ailleurs	coûts

5.1.1 Description de la filière et des pratiques

Occupant plus de la moitié des superficies agricoles de l'île (24 361 ha de plantations en 2016), cette culture recule depuis plusieurs années (-10% de la surface agricole sur la période 2004-2011), et ce pour deux raisons principales :

- l'étalement urbain (partiellement compensé par une extension dans les Hauts)
- la baisse du prix du sucre et la réforme européenne de l'organisation commune du marché du sucre mettant fin au dispositif de quotas et de prix garantis (septembre 2017). L'état français s'est engagé à soutenir la filière jusqu'en 2021, mais l'avenir de cette dernière -aux prix de revient environ 50% plus cher que dans le reste du monde- reste incertain.



La production cannière est majoritairement assurée par des planteurs individuels (environ 3500 planteurs sur l'île), dont la taille des exploitations est très variable :

- 5000 ha de petites plantations (0,5 à 5 ha)
- 8000 ha de plantations moyennes (5 à 15 ha)
- 11300 ha de grandes plantations (> 15 ha)

La récolte est mécanisée dans les grandes exploitations bien situées, mais ne l'est que très partiellement pour les autres planteurs, notamment en raison des fortes pentes. La question de la disponibilité de main d'œuvre est alors un enjeu important lors de la récolte. On peut évaluer à 22% la part de l'assolement cannier mécanisé, soit 5 360 ha.

5.1.2 Estimation du potentiel en paille de canne

- Gisement théorique

La quantité de paille sèche est estimée entre 11 tMS/ha à 15 tMS/an, celle-ci variant en fonction de la variété, du type de coupe et du cycle de plantation. En considérant les écarts de productivité entre parcelles mécanisées et non mécanisées, on peut estimer le potentiel de pailles sèches à :

- 80 400 tMS/an pour les 5 360 ha de parcelles mécanisées (15 tMS/an)
- 209 000 tMS/an pour les 19 000 ha de parcelles non-mécanisées (11tMS/an)

Ce qui porterait le potentiel théorique global à environ 289 400 tMS/an.

Ce total est proche de celui estimé dans le Schéma Régional Biomasse (, dont le .

Le gisement théorique des pailles de canne s'élève donc à 382 422 tMB/an soit 267 696 tMS/an sur l'ensemble du territoire réunionnais (source SRB).

- Réglementation et droits d'accès

Il n'y a pas de contrainte règlementaire à l'enlèvement des pailles de canne. Cependant, l'une des éco-conditionnalités des aides européennes indique que les parcelles agricoles ne doivent pas rester sans couverture végétale entre le 1er janvier et le 31 mars pour les sols dont la pente est supérieure à 30%, c'est-à-dire peu après la récolte. En cas de repousse de la canne, le sol est couvert et cette éco-conditionnalité n'est pas contraire à l'enlèvement des pailles.

Toutefois, l'exportation de la totalité des pailles n'est pas encouragée, du fait de son rôle pour le maintien des activités biologiques du sol, pour la lutte contre l'érosion et les adventices et pour la fertilité des sols. Bien qu'il existe de fortes incertitudes concernant la fraction de paille exportable permettant une gestion durable des sols et de la production de canne à sucre, il est actuellement estimé qu'1/3 des pailles doivent rester au sol.

- Usages concurrents et contraintes techniques

Lorsque les parcelles sont mécanisables, les pailles sont fréquemment exportées pour l'alimentation des élevages bovins. D'après les estimations du secteur cannier, la quantité de pailles exportées pour le secteur de l'élevage s'élève à 5 000 tMS/an. Compte tenu des objectifs d'intensification et d'augmentation du cheptel bovin de l'île, on peut estimer l'objectif à court terme est d'exporter 15 000 tMS/an.

Ces exportations ne sont actuellement réalisées que sur les parcelles mécanisées.

- Potentiel disponible

En considérant (i) que seules les surfaces mécanisables sont disponibles ; (ii) qu'1/3 des pailles produites restent au sol ; (iii) que le secteur de l'élevage atteigne son objectif de 15 000 tMS/an pour l'alimentation animale, on peut évaluer le potentiel disponible à 38 600 tMS/an

Cette estimation doit néanmoins être considérée avec précaution pour deux raisons :

- en l'état actuel des connaissances scientifiques, il n'existe pas de données arrêtées quant à la fraction de paille devant rester au sol selon un modèle durable de production agricole ;
- d'après les professionnels de la filière bovine, il semblerait que les planteurs soient peu enclins à vendre leur paille pour des raisons économiques (achetée environ 10 €/t au planteur), ou par crainte de dégrader leur système de culture (passage d'engins agricoles, incertitude sur l'intérêt agronomique de prélever des pailles, etc.).

L'acceptabilité du prélèvement des pailles de canne peut néanmoins évoluer selon l'avancée des recherches agronomiques et selon les évolutions et les collaborations qui s'établissent entre les filières canne et bovine.

Il n'existe à ce jour aucune valorisation énergétique de la filière paille de canne. Son potentiel énergétique est perçu comme très intéressant, mais les contraintes logistiques et les enjeux environnementaux sont à ce jour trop incertains pour une exploitation à grande échelle de la filière.

5.1.3 Estimation du potentiel en bagasse

- Gisement théorique

La production totale de canne sur l'île est de l'ordre de 1,8Mt/an, avec un rendement moyen estimé à 75 tMB/ha en 2016).

En considérant 300kg de bagasse (à 50% d'humidité) obtenue à partir d'une tonne de canne fraîche, on peut estimer la quantité de bagasse sèche produite sur l'île et disponible au niveau des sucreries à 274 000 tMS/an.

- Usages et potentiel disponible

L'intégralité de la bagasse produite sur l'île est valorisée énergétiquement dans les centrales thermiques d'Albioma, sur les sites de Bois Rouge et du Gol, durant les campagnes sucrières.

De fait, aucun volume supplémentaire n'est mobilisable.

La filière de valorisation thermique de la bagasse dans les centrales est maintenant éprouvée et efficace. Il n'y a pas d'évolution importante à attendre mais une optimisation poussée (amélioration variétale, méthode coupe « péi », procédé de combustion) permettrait d'atteindre tout de même une augmentation de 10% des volumes (source syndicat du Sucre). Considérant l'importance de ce gisement énergétique, une telle croissance ne serait pas négligeable pour un apport énergétique supplémentaire.

Le seul moyen d'augmenter la production de bagasse serait d'exploiter des variétés de canne plus riches en fibres ("canne mixte" ou "canne énergie"). A taux de saccharose équivalent, une canne mixte contient environ 2% à 4% de fibres en plus que les variétés commerciales actuelles. Des cannes mixtes sont actuellement en cours d'évaluation sur La Réunion.

En fonction des rendements en conditions réelles, on peut estimer un **potentiel supplémentaire de bagasse disponible de l'ordre de 10 000 à 15 000 tMS/an.**

5.2 Biomasses d'origine forestière

5.2.1 Rémanents issus de l'exploitation des forêts publiques

- Gisement théorique

Sur les 100 515 ha gérés par l'ONF, seuls 3 500 ha sont dédiés à la production de bois d'œuvre, principalement des plantations de cryptomeria (*Cryptomeria japonica*) et dans une moindre mesure de tamarins (*Acacia Heterophylla*). Face au très faible nombre d'exploitants forestiers, l'ONF exploite principalement en régie et vend ainsi les bois façonnés en bord de route, essentiellement à la Scierie de Bourbon (Saint-Benoît) pour une valorisation en ébénisterie et en bois de construction.

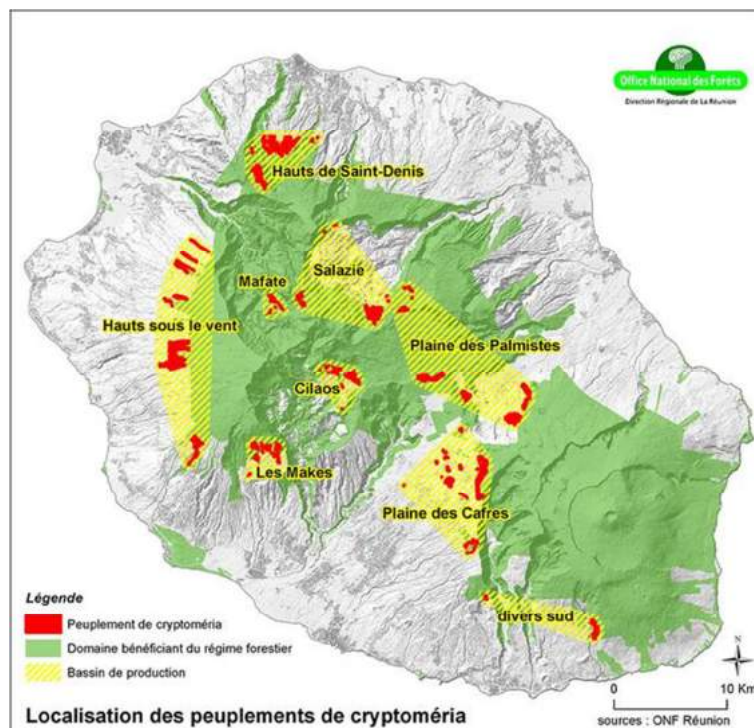


Figure 28 : peuplements de Cryptoméria à la Réunion (source ONF Réunion)

En 2014, 12600 m3 de bois étaient coupés, parmi lesquels : 7700 m3 de bois d'œuvre et 5133 m3 de bois connexe (rémanents d'exploitation).

Le potentiel théorique s'élève donc à 5 133 m3/an, soit 4 312 t MB/an (bois frais à 50% d'humidité).

- Réglementation, droits d'accès et usages concurrents

Afin de s'assurer du maintien de la couverture du sol et de l'apport de matière organique, les rémanents de diamètre < 7 cm sont laissés au sol, conformément à la norme ISO 14 001. La fraction disponible pour une valorisation énergétique correspond donc uniquement aux bois de diamètre compris entre 7 et 18 cm.

Lors des coupes rases, le bois est généralement sorti de la parcelle, ramené bord de route afin d'effectuer le billonnage qui permet de séparer les bois d'œuvre des produits connexes. Les produits connexes sont donc concentrés en bord de route et facilement collectables avant transport.

La majeure partie des produits connexes valorisés est actuellement collectée par la société COPOBOIS qui les transforme en copeaux de bois, essentiellement vendus pour un débouché en litière animale (notamment en élevage de volailles). La demande de l'île pour ce type de produit est estimée à 450 m3/an, mais demanderait à être ré-évaluée. Cette société s'est récemment positionnée sur le marché du bois énergie via la production de plaquettes forestières.

- Potentiel disponible

La majeure partie du potentiel disponible correspond donc aux produits connexes issus de plantations de l'ONF, desquels sont retirés les 450 m3 valorisés en litière, soit 4683 m3 ou 3 746 tMB/an (50% d'humidité).

L'intégralité du potentiel disponible est donc valorisable, c'est à dire 1 873 tMS/an.

5.2.2 Résidus de transformation du bois

Actuellement une seule scierie valorise le bois de Cryptoméria : Sciages de Bourbon située à Saint Benoit. Elle traite l'intégralité des 7700 m³ de bois de Cryptoméria.

Les résidus (sciures, chutes de bois massifs) représentent environ 45% du volume de bois en grue, soit un potentiel théorique de 3 500 m³/an. Ces déchets sont actuellement entièrement récupérés par la société COPOBOIS et donc non disponibles pour une filière énergétique.

5.2.3 Exploitation d'espèces ligneuses invasives : l'*Acacia mearnsii*

- Gisement théorique

L'*Acacia mearnsii* est une espèce invasive dont les peuplements se situent principalement dans les Hauts de l'Ouest. La superficie totale théorique des peuplements d'*Acacia* est estimée à environ 2500 ha, dont 263 ha situés dans le domaine géré par l'ONF [17].

Le stock sur pied se situerait entre 40 tMS/ha et 170 tMS/ha. Nous retiendrons un stock moyen sur pied de 115 tMS/ha, valeur reprise par l'ONF (2014). La productivité moyenne d'*Acacia mearnsii* reste très incertaine et dépend de l'itinéraire technique appliqué à sa gestion. Elle est évaluée dans la littérature entre 12 à 14 tMS/ha/an

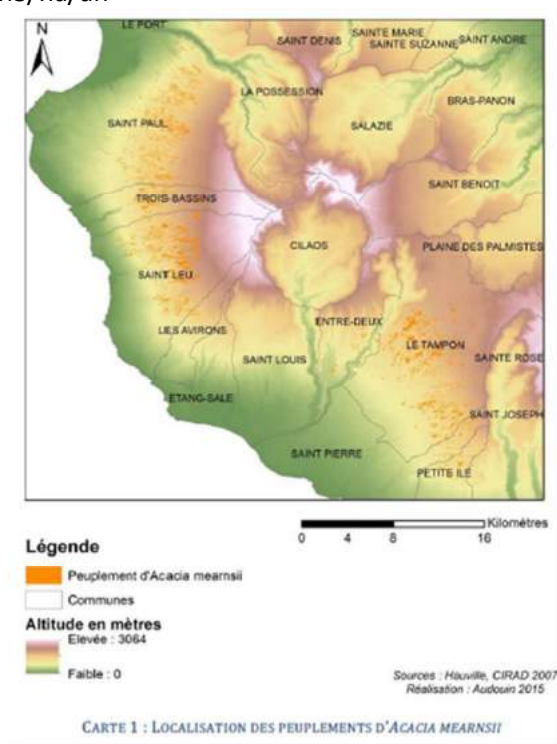


Figure 29 : peuplements d'*Acacia mearnsii* à la Réunion (source ONF Réunion)

Le stock théorique s'élève donc à 279 910 tMS sur pied et le gisement potentiel annuel serait de l'ordre de 30 000 tMS/an

- Réglementation et droits d'accès

L'arrêté préfectoral n°3006 relatif aux Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales de la Réunion (BCAE) fait figurer l'*Acacia mearnsii* comme espèce exotique envahissante (EEE). La plantation d'*Acacia mearnsii* est donc interdite et les agriculteurs sont tenus de lutter contre cette espèce.

Les activités de plantation ou d'exploitation ne sont donc pas éligibles aux subventions. Et seule la disponibilité de bois déjà exploité à des fins d'assainissement des espaces envahis peut être considérée.

- Usages concurrents

La filière bois énergie est très peu structurée à la Réunion, et la consommation de bois d'*Acacia mearnsii* se limite majoritairement aux filières informelles (cuisson, chauffe, cérémonies religieuses). Il existe cependant une poignée d'usages identifiés et quantifiables (demande en bois bûche pour le chauffage de logements sociaux, formation de bûcherons et d'élagueurs via des chantiers de réinsertion, petites activités de charbonnage). Pour ces activités, le bois d'acacia est exploité en convention avec l'ONF et est évalué à 650 tMS/an.

Un autre usage concurrent est celui de la demande en terres agricoles. L'*Acacia mearnsii*, auparavant exploité comme source d'énergie pour la distillation des huiles de géranium, a envahi les terres des hauts de l'Ouest depuis la chute de la filière du géranium. Ces terres abandonnées peuvent potentiellement redevenir des terres agricoles, même si leur productivité est faible. Néanmoins, nous considérons ici que cet usage concurrent ne pourra pas être pris en compte dans l'évaluation du potentiel mobilisable

En considérant ces usages concurrents annuels, le potentiel disponible serait donc de 29 000 tMS/an.
--

- Contraintes

Les principales contraintes techniques à la mobilisation de la biomasse forestière sont:

- Une pente inférieure à 50% pour permettre l'abattage et le débardage du bois (pente < 15% pour l'abattage mécanique et entre 15 et 50% pour l'abattage manuel),
- La proximité d'un axe de circulation à moins de 150 m.

Considérant ces contraintes, les superficies d'*Acacia mearnsii* réellement exploitables ne seraient que de 2020 ha, dont 1867 ha dans le domaine privé et 153 ha dans le domaine de l'ONF.

Par ailleurs, on constate un fort morcellement des peuplements selon le parcellaire, avec une moyenne de 0,4 ha d'*Acacia mearnsii* par propriétaire cadastral. Seul 1% des parcelles comportent des peuplements supérieurs à 5 ha. Ainsi les coûts de mobilisation de cette ressource risquent d'être très importants.

De nouvelles estimations du potentiel en biomasses forestières devraient être prochainement disponibles suite à une évaluation menée par l'ONF.

5.3 Biomasses d'origine urbaine

5.3.1 Broyats de bois de palettes

D'après les importations de containers sur l'île, il est estimé que 44 000 t de palettes transitent à la Réunion chaque année. Parmi celles-ci, 17 400t à 30 000t de palettes sortent du circuit de transport de marchandises chaque année. Une partie est captée par les unités de traitements pour destruction, l'autre partie est stockée au niveau des industriels, abandonnée voire brûlée de façon illégale.

- Réglementation et droits d'accès - usages

Le plan de prévention et de gestion des déchets non dangereux (PPGDND) prévoyait la valorisation énergétique de 100% des déchets de bois palette à l'horizon 2026. Le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) donne désormais priorité à la valorisation matière.

Les usages en valorisation matière concernent le co-copostage, le paillage, ou la litière en élevage bovin. Pour l'ensemble de ces débouchés, la demande reste toutefois assez faible et les sociétés de traitement (Metal Réunion, AC2V, SARL RUN PAL et Recyclage de l'Est) sont disposées à augmenter considérablement leur activité de broyage en cas de débouché assuré.

La nouvelle réglementation du 1er janvier 2014, impose que les broyats de bois palettes aient fait l'objet d'une sortie de statut de déchets (SSD) pour les installations de combustion classées sous la

rubrique 2910-A. Les palettes utilisées ne doivent pas avoir subi de traitement chimique. La SSD implique que la plateforme de traitement soit une installation classée pour l'environnement, ce qui n'est pas le cas de la plateforme de S.A.R.L RUN-PAL.

- Gisement disponible

Le gisement total actuellement valorisable est estimé à 7200 tMB/an (source Energies Réunion, 2017).

Ce gisement a été estimé après application des obligations réglementaires (classement ICPE) et déduction des usages concurrents (co-compostage). Ce chiffre doit toutefois être considéré comme une estimation basse, étant donné la quantité de palettes "perdues" chaque année. En cas de mise en œuvre de ce plan, et de la mise en place de sites de traitements capables d'assurer le broyage, ce seraient la quasi-totalité des palettes sorties du circuit de transport qui seraient valorisables, soit 17400t à 30000t de palettes par an.

5.3.2 Déchets verts

Les volumes de déchets verts ont été obtenus pour l'année 2015 grâce aux rapports des différentes EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale) qui sont en charge de leur collecte. Le gisement mobilisable est évalué à 114 000 tMB/an sur l'ensemble de l'île.

Actuellement, ces gisements sont valorisés en installation de compostage ou de broyage. Une part importante de ces produits fait l'objet d'une valorisation organique en agriculture et élevage, y compris pour les broyats (supports de culture, litière, paillage...) avec toutefois quelques contraintes de respect de réglementations. Une autre partie (notamment les rebus ligneux) de ces déchets est enfouie.

La fraction ligneuse de ces déchets verts représente une grande opportunité de valorisation énergétique, en complément de la valorisation matière qui reste prioritaire selon la hiérarchisation des usages. On peut estimer que 60% du gisement doit rester disponible pour la valorisation organique, tandis que les 40% restants seraient potentiellement mobilisables pour la valorisation énergétique en envisageant une séparation de la fraction ligneuse dont le taux de matière sèche peut être estimé à 50%.

Cette hypothèse conduit à un gisement disponible en déchets verts de 45 600 tMB/an, soit 22 800 tMS/an.

A signaler qu'Albioma estime le gisement mobilisable, sans conflit d'usage, à 25 000 tMB/an, soit environ 12 500 tMS/an.

Enfin, une amélioration de la collecte et du tri est nécessaire car les flux actuels sont de qualité hétérogène (présence d'autres types de déchets, parfois toxiques). De même, une concurrence entre les opérateurs de valorisation s'avère nécessaire pour assurer une filière pérenne.

5.4 Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses

Le potentiel de bagasse est logiquement le plus important, mais déjà complètement valorisé. Le maintien de ce potentiel est dépendant de l'avenir de la canne à sucre.

En termes de nouvelles ressources, les plus gros potentiels sont les déchets verts et les biomasses forestières, notamment celles issues de l'Acacia meansii. Si la filière de préparation de broyats de déchets verts a déjà été testée, la filière bois énergie doit encore être structurée et le potentiel réel mieux estimé.

La paille de canne représente également un énorme potentiel, mais l'accessibilité à cette ressource (tant technique et logistiques que d'un point de vue de gestion des ressources) constitue un frein majeur. Le potentiel réellement mobilisable doit être mieux estimé avec les acteurs de la filière canne.

Tableau 13 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Réunion

	Gisements théoriques estimés	Gisements disponibles estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Paille de canne à sucre	289 411tMS/an	28 600tMS/an	Canne, culture dominante de l'île : gisement important de biomasse non valorisé Usines bagasse déjà en activité pouvant valoriser les pailles	Avenir incertain de la filière cannière Accessibilité à la paille	Source de revenus supplémentaire pour les producteurs	Coûts de valorisation Gestion durable des sols
Bagasse	274 000tMS/an	0	Canne, culture dominante de l'île Filière sucrière moteur de la valorisation des coproduits	exploitée à 100 % Avenir incertain de la filière cannière	Source de revenus supplémentaire pour les sucriers	
Bois d'acacia issu du défrichement	30 000 tMS/an	29 000 tMS/an	Nécessité de lutter contre les espèces exotiques invasives	Filière peu structurée Difficulté d'accès et dispersion Forts coûts de mobilisation Contraintes règlementaires incertaines vis-à-vis du statut d'Espèce Envahissante Exotique	Création d'emplois Gestion durable du territoire	Incertitude sur la productivité des formations à Acacia Durabilité ?
Rémanents d'exploitation des plantations de Cryptoméria	2 156 tMS/an	1873 tMS/an	Bonne productivité	Usages existants (bois d'œuvre, bois de chauffe) Plantations privées menacées par les prix du foncier Politique forestière qui envisage de ne plus exploiter les forêts	Gestion durable du territoire Source de revenus supplémentaire pour les exploitants Intégration de nouvelles essences à croissance rapide	Dégradation des écosystèmes forestiers
Déchets de scieries	3 500 m3/an	0	Biomasse concentrée	Biomasse déjà entièrement utilisée		
Broyats de bois de palettes	9 500 tMS/an	7200 tMS/an	Biomasse déjà collectée et concentrée	Contrainte règlementaire (SSD)	Valorisation des déchets Economie circulaire	
Déchets verts	45 600 tMS/an	22 800 tMS/an	Biomasse déjà collectée et concentrée Tests déjà réalisés	Nécessité de trier les déchets	Valorisation des déchets Economie circulaire	Concurrence avec les besoins de l'élevage

6 Les Seychelles

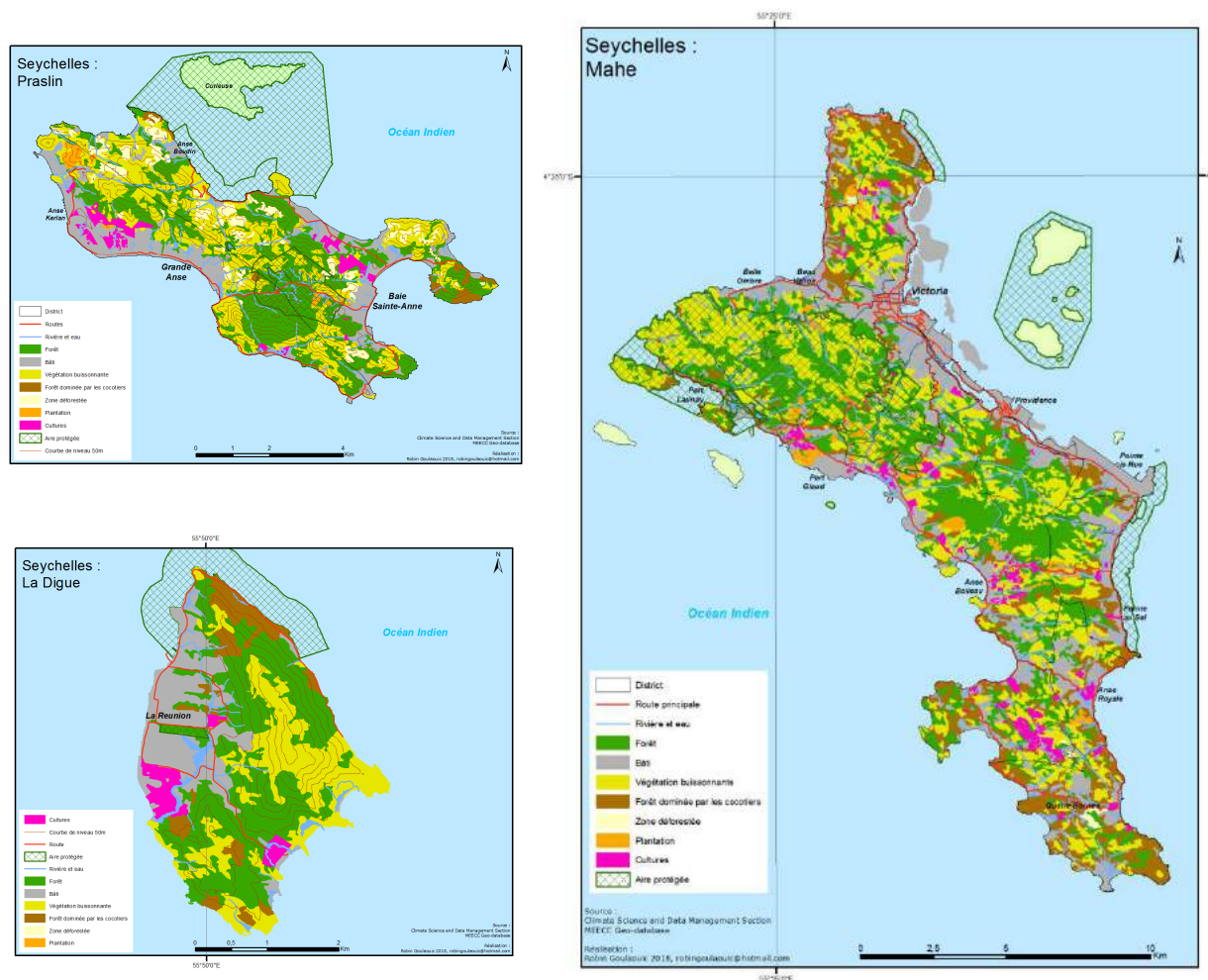


Figure 30 : Carte d'occupation du sol – Seychelles

6.1 Biomasses d'origine agricole

6.1.1 Les sous-produits de la production de noix de coco

6.1.1.1 Description de la filière et des pratiques

A l'époque coloniale, la noix de coco était l'un des piliers économiques des Seychelles. Celle-ci alimentait une filière de production d'huile de coprah, source d'emplois et de revenus. Comme l'ensemble de l'activité agricole, celle-ci a été progressivement abandonnée avec l'avènement du tourisme (entre 1999 et 2009, la production de noix de coco a diminué de 59%). En parallèle, les coûts élevés de production et la baisse des prix de l'huile de coco sur le marché mondial ont fortement impacté la filière.

Depuis 2010, l'Island Développement Company (IDC) envisage de relancer la filière, notamment via la construction d'usines de coprah sur des îles dédiées (Farquhar et Coetivy), mais ces initiatives n'ont aujourd'hui toujours pas eu d'impact notable sur les cocoteraies. Les principaux freins à la relance de la filière sont les coûts de production et les contraintes liées aux transports d'île à île -très éloignées les unes des autres.

Pour autant, le cocotier reste omniprésent dans l'archipel : dans les trois îles principales, plus de la moitié des ménages possède au moins un cocotier sur leur terrain. D'après les chiffres du

recensement agricole 2011, les Mahe, Praslin et la Digue confondues comptabilisaient 14421 cocotiers répartis sur 92ha. Ces arbres sont principalement localisés au sein des habitations (89%), et seuls 11 hectares sont catégorisés comme plantations.

6.1.1.2 Estimation du potentiel en co-produits de coco

- Potentiel théorique

Les estimations sont basées sur les hypothèses suivantes (source CIRAD-GRET 2002):

- Les fruits du cocotier pèsent en moyenne 1,2 kg, dont on peut extraire
 - o 33% de bourre sèche
 - o 15% de coque sèche
- Chaque cocotier perd 13 feuilles / an, ce qui représente une production en pétioles de 26 kg/an.

Sur cette base de calcul, le tableau ci-dessous présente les gisements théoriques :

Praslin – La Digue – Mahe	Nombre de cocotiers	Bourres (tMS/an)	Coques (tMS/an)	Pétioles (t/an)
Plantations	1586	31,4	14,27	41,24
Ménages	12835	254,13	115,52	333,71
TOTAL	14421	285,54	129,79	374,95

- Accessibilité et potentiel mobilisable

Traditionnellement, le cocotier est valorisé à 100% (huile, fruits, feuilles pour les toits et la vannerie, tronc pour la construction, coques pour faire du charbon et bourres pour garnir les matelas). Nous n'avons pas de données fiables quant aux valorisations contemporaines des sous-produits du cocotier. Il est néanmoins probable que le développement économique de l'archipel ait fait disparaître la plupart de ces usages.

Production domestique

89% des cocotiers sont situés chez des particuliers. Seul 1% des Ménages revendent leurs surplus, la quasi-totalité de la production domestique de noix de coco est donc autoconsommée. L'ensemble des sous-produits valorisables (feuilles-bourres-coques) sont dispersés au sein des habitations, et par définition considérés comme des déchets verts issus des ménages.

En l'absence d'un ramassage des déchets verts domestiques ces gisements ne peuvent pas être considérés comme disponibles.

Si toutefois un tel ramassage était mis en place, comme c'est en projet actuellement (cf ci-après) on peut estimer qu'une partie des feuilles pourraient être collectées dans les jardins. Il semble illusoire de pouvoir récupérer les bourres chez les particuliers, ces dernières étant vraisemblablement utilisées ou laissées au sol.

Aussi, en s'appuyant sur une hypothèse de collecte de 50% des pétioles dans les jardins, les gisements disponibles seraient de l'ordre de 166 tMS/an de pétioles.

Production issue des cocoteraies « commerciales »

Une part est revendue localement (consommation locale, tourisme) et une autre part est transformée dans des usines de coprah (mais celles-ci tournent au ralenti). Nous n'avons pas de données fiables quant aux circuits empruntés par les productions de cocoteraies.

Les bourres comme les feuilles restent concentrées sur les plantations. Faute d'information précise, nous pouvons faire l'hypothèse que ces sous-produits ne sont pas déjà valorisés, ce qui demanderait une enquête spécifique afin de s'en assurer.

Aussi, en s'appuyant sur cette hypothèse et en envisageant un ramassage spécifique des résidus dans les cocoteraies commerciales, les gisements disponibles seraient équivalents aux gisements théoriques, soit 31 tMS/an de bourres et 41 tMS/an de pétioles.

Concernant les coques, la question reste entière, car les probabilités de concentration du gisement dépendent de la part de noix de coco transformée dans les usines de coprah. En effet, les coques de noix de coco revendues pour une consommation locale se retrouvent elles aussi mélangées aux déchets domestiques, tandis que celles intégrées à la filière coprah sont concentrées sur les sites de production. Là encore, des études plus poussées sont nécessaires pour mieux évaluer ce gisement, ainsi que les éventuels usages qui en sont fait.

Dans l'état de nos connaissances, le gisement « coques » de noix de coco peut être estimé entre 0 et 14tMS/an.

→ Une évaluation plus poussée sur le terrain est conseillée pour affiner la connaissance de la filière.

6.2 Biomasses d'origine urbaine : déchets verts

Dans le cadre de la Stratégie de développement durable des Seychelles (2012-2020), il est estimé que 48 000 t de déchets seraient produits chaque année, avec une augmentation de 40% à prévoir à l'horizon 2022.

Malgré une volonté affichée de valoriser ce gisement, les déchets verts déposés en décharge sont aujourd'hui enfouis avec le reste des ordures. Dans les publications locales, la notion de déchets verts englobe à la fois les déchets ligneux et les déchets organiques compostables. L'ensemble est considéré comme source de 48% de la masse totale de déchets sur l'île. Si cela est considérable, ce chiffre ne permet cependant pas de distinguer les déchets organiques compostables des déchets verts ligneux.

- Gisement théorique

Le gisement théorique correspond à la fraction ligneuse issue de l'entretien annuel de l'entretien et du renouvellement des espaces verts publics et privés de l'île.

Ce gisement est difficile à évaluer en l'absence de données sur les types de jardins, les pratiques de jardinage, compostage, de brûlage et d'entretien des espaces privés. D'après les données disponibles sur les îles de la Réunion et de la Guadeloupe, où des systèmes de collecte en porte à porte et en déchetterie ont été mis en place, il ressort que :

- Environ 140 kg de biomasse végétale/pers/an sont collectés
- La fraction ligneuse non compostable serait d'environ 40%

Néanmoins ces chiffres ne renseignent pas sur le potentiel théorique. En effet une partie importante des déchets est encore brûlée dans les jardins, compostée ou laissée au sol pour amendement organique.

Pour estimer le gisement théorique nous avons considéré que les 2 ressources principales étaient : les haies et les arbres des jardins. Le recensement agricole de 2011 permet d'estimer le nombre d'arbres fruitiers (yc Coco et hors banane) par ménage, soit environ 3 arbres fruitiers/ménage.

Pour les calculs :

- On supposera que chaque ménage dispose d'autant d'arbres d'agrément que d'arbres fruitiers (soit 6 arbres/ménage) et d'environ 20 m de haie.
- On considérera que la productivité ligneuse en menu bois par arbre (fruitier et agrément) est d'environ 25 kg/arbre/an (données ADEME 2009) soit sensiblement identique à celle d'un cocotier.
- On considérera que la productivité ligneuse en menu bois d'1m de haie est de 5 kg (données ADEME 2009).

Ainsi, pour chaque ménage on peut estimer à environ 250 kg/ménage/an la biomasse ligneuse issue de l'entretien des jardins

Aussi, en considérant une population de 27 000 ménages (estimation 2017), le gisement théorique global pour l'archipel des Seychelles est estimé à 6 750 T de biomasse fraîche /an.

Ce chiffre représente une estimation grossière qu'il faudrait affiner.

- Accessibilité et potentiel mobilisable

A la Réunion, le double système de récupération des déchets verts mis en place : en porte à porte et en déchetterie, permet de récupérer actuellement 140 Kg de déchets verts/hab/an. Ces déchets comprennent les résidus de tonte, les feuilles et une fraction ligneuse. Seule la fraction ligneuse est d'intérêt pour la bioélectricité, le reste étant destiné au compostage. Les données manquent pour estimer la part des fractions réellement récupérables. Néanmoins selon l'ADEME et les observations faites à La Réunion, cette fraction serait de l'ordre de 40%, ce qui porte à 56 kg de déchets ligneux mobilisables/pers/an.

Malgré une volonté affichée de valoriser ce gisement, les déchets verts déposés en décharge sont aujourd'hui enfouis avec le reste des ordures.

Aussi, le gisement mobilisable après mise en place d'un système de collecte sur l'ensemble de l'archipel des Seychelles peut être estimé à 5 150 t MB /an, soit de l'ordre de l'ordre de 2 600 tMS/an si on conserve l'hypothèse d'une teneur en MS de 50%.

Il est à noter que ce chiffre représente environ 75% du gisement théorique et semble sans doute surévalué.

6.3 Biomasses d'origine forestière

En 2015, la superficie forestière des Seychelles était estimée à 37 700 ha dont 32 800 ha de forêts naturelles et de 4 900 ha de plantations.

La surface de forêts naturelles est estimée à 32 800 ha. Ces forêts sont composées :

- de forêts mélangées, le type le plus fréquemment rencontré,
- de formations forestières à Albizzia dominant, assez fréquentes le long des ruisseaux, même en montagne,
- des broussailles à base de Prune de France (*Chrysobalanus icaco*), Cannelier et autres essences à développement arbustif,

La politique actuellement mise en œuvre par la division Nature & Conservation a pour objectif principal la conservation et l'amélioration du manteau forestier. Dans ces conditions, l'apport essentiel de la forêt consiste à fournir un cadre aux activités touristiques, une protection contre

l'érosion et une régularisation du régime des eaux. L'exploitation forestière ne fait pas partie des objectifs à moyens et longs termes.

La part des forêts protégées n'a cessé d'augmenter depuis 20 ans et actuellement plus de 70% des forêts sont protégées.

6.3.1 Rémanents d'exploitation de forêt naturelle

A l'heure actuelle il n'existe pratiquement plus de zones dédiées à la production de bois.

En revanche, 6 000 ha sont classés en zone de préservation de la qualité de l'eau avec possibilité marginale d'exploitation d'espèces exotiques plantées. Mais les quelques plantations exotiques existantes y sont petites, morcelées, peu accessibles et donc économiquement non rentables.

Les besoins en bois de l'île seraient actuellement de l'ordre de 17 000 m³, dont 8 000 m³ de sciages, 4000 m³ de panneaux et 5 000 m³ de bois de feu.

En 1992, seulement 2000 m³ de sciages étaient produits sur l'île et la demande en bois de feu était entièrement satisfaite par les prélèvements locaux.

Aujourd'hui, la production de sciages est marginale et la consommation en charbon de bois des ménages a considérablement diminué, ces derniers étant passé à la cuisson au gaz. Seuls les hôtels et restaurants utilisent encore ce combustible pour les barbecues.

Ainsi, on peut considérer qu'il n'existe plus d'exploitation des forêts naturelles et que cette situation perdurera sur le long terme.

Le potentiel théorique de rémanents est donc considéré comme négligeable

La présente analyse ne concerne que les rémanents d'exploitation. Il nous a par ailleurs été rapporté¹¹ que des arbres entiers d'Albizzia sont parfois abattus et abandonnés en bordure de rivière. Une analyse plus approfondie serait nécessaire pour évaluer le cadre et la fréquence de ces pratiques, ainsi que le gisement potentiel en bois correspondant. Par manque de donnée quantifiée, nous ne pouvons pas intégrer ce potentiel.

6.3.2 Les plantations forestières

Les plantations forestières à vocation de bois d'œuvre sont très limitées sur l'archipel. Seuls 400 ha seraient encore en production sur Mahé. Les autres plantations ont des objectifs de protection des sols et des paysages. La plantation de Mahé ne peut fournir qu'environ 250 m³ de bois/an.

Ainsi, on peut considérer qu'il n'existe pas de ressource exploitable dans les plantations existantes.

6.3.3 Les résidus de scieries

A notre connaissance, la seule scierie encore en activité se situe à Grand Anse. Nous ne connaissons pas son volume de production qui doit être très réduit. La majorité des sciages locaux se fait directement en forêt. Les déchets sont donc laissés en forêt et ne peuvent être utilisés pour un usage énergétique.

Ainsi aux Seychelles, il semble que la situation des forêts ne permet pas d'envisager une quelconque exploitation de la ressource ligneuse. On peut considérer qu'aucune ressource forestière, naturelle ou plantée, n'est disponible actuellement.

¹¹ communication personnelle Mamy Razanajatovo

6.3.4 L'exploitation des espèces invasives

Comme dans les autres pays de la zone OI, certaines espèces exotiques sont identifiées comme envahissantes pour la végétation endémique aux Seychelles, avec les risques sur la biodiversité. A ce stade, nous n'avons pas pris les informations quant à la nature de ces espèces identifiées, mais il est probable qu'il n'existe pas d'évaluation de gisement.

Des activités de défrichement de ces espèces invasives, conformément aux objectifs de la politique forestière, pourraient à la fois contribuer à la préservation des forêts naturelles et prodiguer une source possible de biomasse ligneuse pour valorisation énergétique. Les difficultés d'accès et la dispersion de ce gisement seraient toutefois des freins à sa valorisation.

6.4 Synthèse du potentiel en biomasses ligneuses

Le Tableau 14 présente une synthèse AFOM des potentiels de chaque ressource pour les Seychelles. Les principales ressources identifiées sont les sous-produits de la culture de coco et les déchets verts, dont les quantités disponibles sont étroitement liées à l'existence d'unités de transformation d'une part (qui auraient l'intérêt de concentrer une partie du gisement) et d'autre part sur la mise en place de systèmes de collecte sélective.

Les hypothèses utilisées pour estimer les gisements théoriques et disponibles sont encore très perfectibles. Elles pourront être affinées via des enquêtes de terrain, notamment pour ce qui concerne la réelle disponibilité des sous-produits de coco ainsi qu'une analyse plus approfondie des pratiques d'exploitation des ressources forestières et des gisements en bois non valorisé.

Tableau 14 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - **Seychelles**

	Gisements théoriques estimés	Gisements disponibles estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Bourres de coco	290 tMS/an	31 tMS/an	Cocotiers omniprésents	Plantations non concentrée - résidu majoritairement domestique	Enjeux liés à la réduction des déchets dans l'archipel	Usages existants ?
Pétiotes cocotiers	375 tMS/an	210 tMS/an	Cocotiers omniprésents	Plantations non concentrées - résidu majoritairement domestique	Enjeux liés à la réduction des déchets dans l'archipel	Usages existants ?
Coques de noix de coco	130 tMS/an	0 – 14 tMS/an	Cocotiers omniprésents	Plantations non concentrées - résidu majoritairement domestique	Concentration des coques dans les usines de coprah	Filière coprah en sommeil
Ressources forestières exploitables	0 (dans les limites de la démarche de l'étude)	0 (dans les limites de la démarche de l'étude)	Domaine forestier non négligeable	Données manquantes, des zones peu accessibles	Gisement issu d'arbres abattus mais non valorisés (ex Albizzia)	Enjeux de biodiversité, préservation de la forêt
Déchets verts	7570 t/an	7570 t/an	Gisement important non-valorisé	Nécessité de ne pas mélanger les déchets verts aux autres ordures	Enjeux liés à la réduction des déchets dans l'archipel	Coûts / efficacité de la collecte ?

PARTIE III : Revue des procédés de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique

Les procédés de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique se décomposent en 3 étapes principales : i) l'approvisionnement et le conditionnement de la biomasse, ii) la conversion thermochimique, iii) la conversion en électricité (Figure 31).

- La 1^{ère} étape vise à préparer la biomasse afin de lui conférer des propriétés (granulométrie, densité) ou une composition (teneur en humidité) adapté au procédé utilisé.
- La 2^{ème} étape de conversion thermochimique permet, sous l'effet de la température essentiellement, de convertir l'énergie contenue dans la biomasse soit sous forme de chaleur dans des fumées (procédé de combustion) ou sous forme chimique dans un gaz de synthèse souvent appelé syngaz (procédé de gazéification).
- La 3^{ème} étape (production d'électricité) consiste à transformer cette énergie thermique ou chimique, d'abord en énergie mécanique via un moteur ou une turbine qui entraîne en rotation une génératrice électrique.

Les technologies de combustion et gazéification sont les plus pertinentes et adaptées à la valorisation énergétique de la biomasse lignocellulosique en électricité et/ou chaleur.

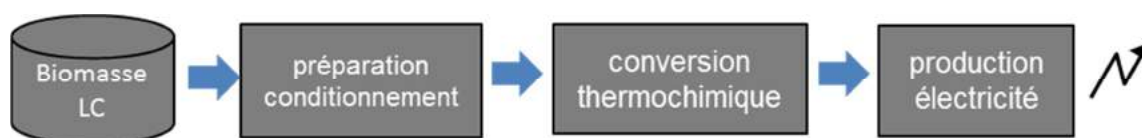


Figure 31 : Production de bioélectricité à partir de biomasse lignocellulosique

1 Critères pour le choix des procédés de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique

Les choix technologiques et le dimensionnement d'une installation de production de bioélectricité sont basés selon plusieurs critères fondamentaux qui sont développés ci-dessous.

1.1 La demande, les besoins énergétiques.

La demande énergétique globale d'une installation se caractérise par plusieurs besoins :

- la nature de l'énergie (électricité, chaleur, vapeur, force) ;
- la puissance (nominale, minimale, maximale), exprimée en kW¹² ;
- le mode de distribution de l'énergie (raccordement à un réseau national, alimentation en îlotage, ou réseau isolé, en ERD¹³ par exemple) ;

1.2 La performance et fiabilité de la technologie

Le choix d'une technologie dépend à la fois de la capacité de production à installer (cf. 1.1), de la disponibilité et de la fiabilité des équipements et du niveau de performance énergétique visée. A noter qu'un équipement plus performant est souvent plus coûteux en investissement et nécessite davantage de compétences des opérateurs.

Les procédés peuvent se classer selon la gamme de puissance (kW_{el} et/ou kW_{th}) ou entrante (kW_{pci}). Différentes catégories peuvent se retrouver selon les références. Le Tableau 15 rassemble les gammes que nous proposons pour la suite.

Tableau 15. Proposition de classification des installations par gamme de puissance entrante

Micro	Petite	Moyenne	Grande
< 100 kW _{pci}	100 – 1 000 kW _{pci}	1 000 – 10 000 kW _{pci}	> 10 000 kW _{pci}

La puissance effective sortante, qui s'exprime en MW_{el} et/ou MW_{th}, dépend du rendement de l'installation : on parle de rendement électrique, thermique, ou de rendement énergétique global.

La cogénération, production combinée de chaleur et d'électricité, permet d'augmenter le rendement global des installations. Le terme de rendement net est utilisé, lorsque toutes les consommations propres d'électricité au sein de l'installation (auxiliaires) sont déduites de la production totale.

1.3 L'approvisionnement et le conditionnement de la Biomasse

La détermination des besoins énergétiques et du rendement de conversion permet de définir la quantité de biomasse nécessaire à une unité de production d'énergie. Cette dernière doit être compatible avec la disponibilité de biomasse, c'est-à-dire la quantité réellement et durablement mobilisable. Cet aspect nécessite souvent une attention toute particulière lors de l'étude de préfaisabilité.

L'approvisionnement en biomasse doit être maîtrisé en termes de :

- quantité (tonnage) fournie, fréquence de livraison, possibilités de stockage, etc... ;
- qualité en termes de propriétés (densité, granulométrie) et composition (humidité, matières minérale des cendres, ...), propreté (présence de terre ou d'autres substances problématiques), et homogénéité de ces facteurs dans un lot et/ou dans le temps.

¹² kW_{el} ou kW_{th} (énergie produite respectivement électrique et thermique), ou kW_{pci} lorsque exprimée sur la base de l'énergie contenue dans la biomasse (pouvoir calorifique).

¹³ Electrification Rurale Décentralisée



Figure 32 : Bagasse (Casuco, Vietnam)

1.4 La Réglementation

Les installations de production d'électricité à partir de biomasse lignocellulosique doivent respecter les réglementations du pays d'implantation, en particulier en matière de sécurité et de préservation de l'environnement. Il s'agit donc pour chaque projet de vérifier que les consommations (eau, gaz, ...) et les émissions gazeuses (composition des fumées) ou solides (cendres, poussières) respectent bien la réglementation en vigueur. Les contraintes réglementaires dépendent en général :

- du type de biomasse valorisé, de la capacité de l'installation
- des modalités de production électrique (autoconsommation, raccordement au réseau...).

1.5 Les coûts

Le coût de production d'un procédé est la somme des différents types de coût suivants :

- Les coûts opératoires (ou coûts de fonctionnement), qui comprennent l'entretien et la maintenance, les consommables (la biomasse, les lubrifiants, etc.), les utilités (eau, air comprimé,...) et tous les frais de direction et de gestion (assurances, comptabilité, administration, etc...).
- Les coûts d'investissement, liés à l'acquisition des équipements. Les coûts de transports, transitaires et assurances, l'installation et mise en route sur site, ainsi que la formation du personnel sont aussi à considérer.
- Les coûts d'aménagement du site d'implantation comprennent les coûts des infrastructures liés à l'installation des équipements, au stockage de la biomasse et autres fournitures, à l'aménagement de voies d'accès, etc.

On détermine la part des coûts d'investissement (et éventuellement d'aménagement) à imputer chaque année en tenant compte de la durée d'amortissement ou de la durée de vie. Additionnés aux coûts opératoires annuels, on obtient le coût annuel. En divisant ce dernier par l'énergie électrique annuelle produite, on détermine un coût spécifique exprimé en €/kWhel.

2 Procédés de combustion de biomasse

La production d'électricité par combustion de biomasse est une technologie mature et commerciale à travers le monde. Les meilleures références en termes de performances le sont essentiellement pour des combustibles bois (plaquettes ou granulés) mais la valorisation de bois massif et d'autres biomasses (bagasses, pailles, balles de riz, ...) n'est plus à démontrer, y compris en cogénération.

Les technologies de combustion couvrent une très grande gamme de puissances, depuis les petits poêles domestiques de quelques kW, jusqu'aux grandes centrales de cogénération de plusieurs dizaines de MW. En production d'électricité, les installations de référence ont des puissances bien supérieures à 1 MWe, même s'il existe des constructeurs qui proposent des technologies à des puissances inférieures.

2.1 Présentation générale

Une installation de combustion de biomasse (Figure 33) est constituée de trois modules : le foyer (ou chambre) de combustion, la chaudière et la turbine et sa génératrice. Bien entendu la préparation/alimentation du combustible et le traitement des fumées de combustion sont également des points essentiels sur des installations biomasse. Ces différents modules sont détaillés par la suite.

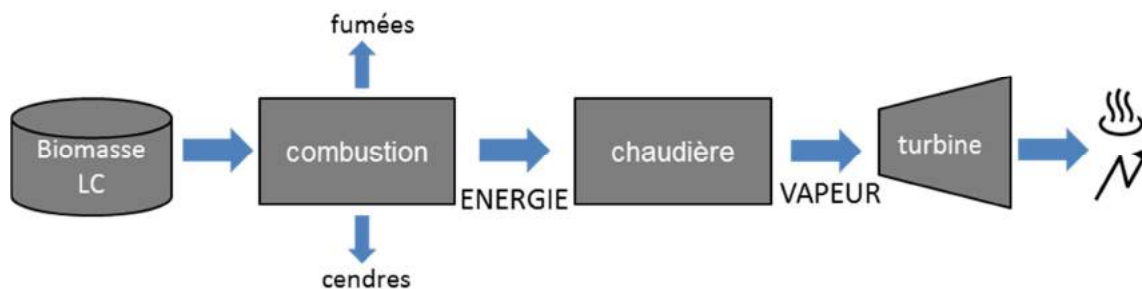


Figure 33 : production d'électricité par combustion (schéma de principe)

2.2 Description technique du procédé

Les différents modules constitutifs d'un procédé de combustion sont décrits brièvement ci-dessous.

Le foyer, où se fait la combustion, est alimenté en combustible biomasse et en air pour produire de la chaleur. Il existe 2 grandes catégories de foyers :

- *Les foyers à grilles* sont constitués d'une grille sur laquelle le combustible est introduit et à travers laquelle l'air primaire est injecté. De l'air secondaire est injecté au-dessus du lit de biomasse pour permettre la combustion des imbrulés gazeux et améliorer la qualité de la conversion. Les foyers les plus simples et robustes de ce type sont à "grilles fixes", utilisés notamment pour les applications thermiques. Ceux dits à "grilles mobiles" (alternatives, vibrantes, rotatives, etc.) offrent une combustion plus efficace des biomasses dont le taux d'humidité ou le taux de matières minérales (cendres) est élevé. Les foyers "volcan" sont une variante dans lesquels la biomasse est alimentée au centre.



Figure 34 : Exemple de foyer à grille

- Les foyers à lit fluidisé sont constitués d'une enceinte cylindrique dont l'air primaire de combustion est injecté en partie basse au travers d'une grille de distribution et un lit de particules inertes (sable de silice généralement). La présence d'un lit de matériau maintenue en suspension dans le foyer favorise l'homogénéisation du milieu réactif et les échanges thermiques. Il existe deux types de foyers de ce type, ceux à lit fluidisé dense et ceux à lit fluidisé circulant, tous deux étant des technologies éprouvées. Bien que le principe de fonctionnement soit similaire, certaines caractéristiques les distinguent, dont la vitesse de fluidisation, la température de fonctionnement, la granulométrie de la matière constituant le lit et la granulométrie du combustible.

La chaudière est essentiellement un échangeur de chaleur qui permet de transférer la chaleur sensible contenue dans les fumées de combustion à un fluide dysphasique (il s'agit généralement d'eau/vapeur d'eau). Elle produit donc de l'eau/vapeur à des débits, températures, et pression précisément définies et contrôlées en fonction de la conception de la centrale.

Pour la production d'électricité, les chaudières de type "à tubes d'eau" sont adaptées à la production de vapeur à moyenne et haute pression/température (de 12 bars/250°C jusqu'à 60 bars/480°C par exemple). Ce type de chaudière permet de répondre à la contrainte de résistance mécanique des matériaux métalliques dans ces conditions opératoires.

Dans les centrales électriques le cycle eau/vapeur se compose de plusieurs éléments (Figure 35) :

- un économiseur, pour réchauffer l'eau à environ 50°C avant alimentation de la chaudière ;
- un évaporateur, afin de produire de la vapeur saturée ;
- un collecteur vapeur, qui permet de recirculer les gouttelettes d'eau dans l'évaporateur et produire de la vapeur plus sèche ;
- des surchauffeurs, pour produire de la vapeur sèche à la température souhaitée (550°C au maximum).

A noter qu'au regard de la qualité de l'eau exigée, un système de traitement de l'eau est nécessaire.

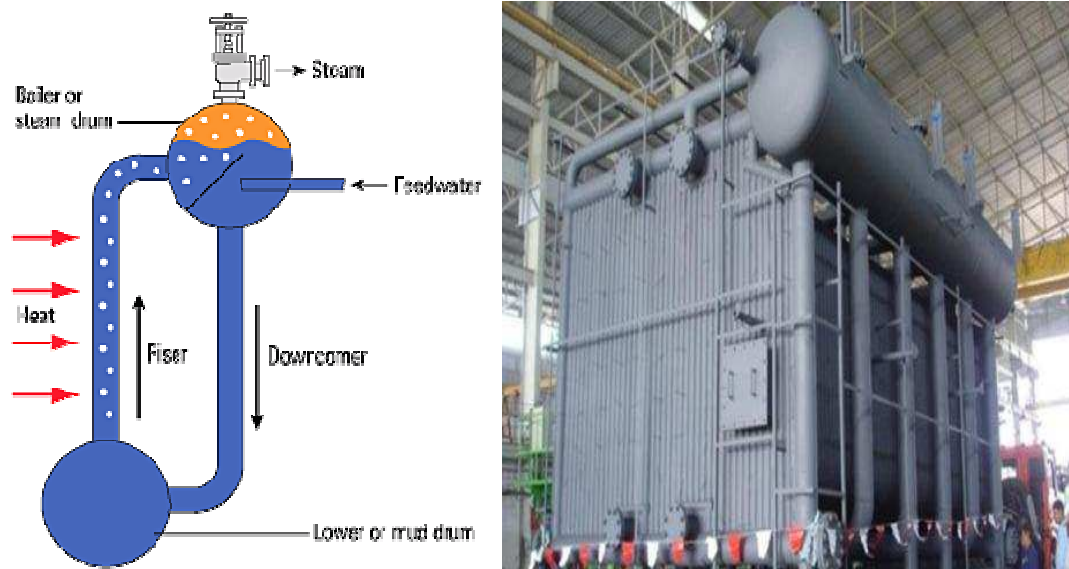


Figure 35: Schéma du cycle eau vapeur et photo d'une chaudière de centrale thermique

La turbine produit une énergie mécanique par la détente de la vapeur d'eau qui actionne des pales. C'est un élément clés du procédé qui impacte significativement sur le rendement de conversion de la biomasse en électricité. La turbine peut être à condensation ou à contre-pression (back pressure). Dans les premières la vapeur est complètement détendue jusqu'à une pression voisine de 0,02 à 0,04 bar, puis liquéfiée dans un condenseur refroidi soit par l'air ambiant, soit par de l'eau. Ce type de turbine est surtout utilisé dans les installations visant à optimiser la production d'électricité. Dans les turbines à contre-pression, la vapeur est détendue de la haute pression (> 40 bars) jusqu'à une basse pression (BP de l'ordre de 4 bars). Ce type de turbine permet de produire de l'électricité grâce aux hautes températures et pression que l'on peut obtenir dans une chaudière, tout en utilisant l'enthalpie résiduelle dans la vapeur BP pour d'autres applications (production d'énergie thermique).

Le moteur à vapeur, tout comme la turbine, permet de produire de l'énergie mécanique (puis électrique) par la détente de la vapeur. Les moteurs peuvent être de type vertical ou horizontal. Les moteurs verticaux sont de conception modulaire et comprennent 1 à 4 cylindres. Les plus performants de ces équipements utilisent la vapeur pour alimenter en cascade plusieurs cylindres par le jeu d'ouverture de valves.



Figure 36: Exemple de turbine à vapeur (Casuco, Vietnam)

Les cycles Organiques de Rankine (ORC) sont basés sur le cycle de Rankine « classique » utilisant un fluide organique à la place de l'eau : un réfrigérant ou un hydrocarbure par exemple. L'intérêt du fluide organique est que sa masse volumique est plus faible que celle de l'eau, ce qui permet de travailler à des pressions moins importantes. Il provoque moins d'érosion des parties métalliques des machines, notamment les pales de la turbine. La rotation de la turbine est aussi plus lente ce qui permet de se passer d'un réducteur de tour et de la brancher directement au générateur électrique. Enfin, l'intérêt majeur du fluide organique est que sa température d'ébullition est inférieure à celle de l'eau et permet donc de valoriser des sources chaudes à des températures plus faibles allant de 90°C à 300°C.

2.3 Analyse critique des technologies de combustion

Le Tableau 16 présente un récapitulatif des principaux procédés pouvant être mis en œuvre dans un système de production d'électricité par combustion de biomasse lignocellulosique.

Les foyers à grilles fixes ou mobiles sont des technologies à la fois (i) éprouvées ; (ii) adaptées à une large gamme de biomasses ; et (iii) abordables en terme de coût d'investissement. Le cahier des charges doit cependant bien préciser quel type de biomasse sera utilisé afin que la conception des grilles et du foyer soit bien adaptée. Par exemple, l'utilisation de grilles mobiles permet d'utiliser un combustible contenant jusqu'à 60% d'humidité sur brut. Les chaudières à grilles fixes ou mobiles peuvent donc répondre à des besoins d'énergie dans une gamme de puissance très large mais les rendements énergétiques des centrales de petites puissances sont classiquement inférieurs à ceux des plus grosses installations.

Les foyers à lit fluidisé sont utilisés dans des chaudières de grosse puissance, avec des chaudières plus sophistiquées (pression vapeur >60 bars ; régulation fine, etc.), et à haut rendement énergétique. Ils sont potentiellement intéressants pour les centrales fonctionnant en continu qui approvisionnent les réseaux électriques nationaux. Les coûts d'investissement et d'exploitation sont plus élevés que ceux des foyers à grilles. Le coût de production est compétitif grâce à un rendement énergétique supérieur et une production plus importante d'énergie (effet d'échelle).

Concernant le module de production d'électricité, il est possible d'associer à la chaudière soit une turbine à vapeur, soit un ORC, soit un moteur à vapeur. Le choix des équipements dépend principalement des spécificités des besoins en énergie et de la configuration d'ensemble (cohérence des choix réalisés pour chaque module). Là aussi le rendement énergétique est très dépendant de la taille et du degré de sophistication du procédé utilisé.

Les turbines à vapeur sont très utilisées depuis des décennies dans toutes les grosses centrales électriques conventionnelles à combustibles fossiles, nucléaires, et biomasse. L'efficacité thermique de la turbine à vapeur varie en fonction de sa taille, et de son degré de sophistication (nombre d'étages, niveau de pression en entrée et en sortie, pertes dues à la friction et aux espacements entre les étages, etc.). Les petites turbines ont une efficacité en charge nominale proche de 35 % tandis que celles de grande capacité (de l'ordre du MWe) peuvent dépasser 40%.

Pour de petites installations, la technologie moteur à vapeur peut être utilisée lorsqu'une maintenance aisée et peu coûteuse (comparativement aux turbines à vapeur) est recherchée, tout en visant une durée de vie élevée. La technologie est peu répandue du fait qu'il n'existe que très peu de constructeurs et que les rendements électriques globaux soient faibles (8 à 15%). Hormis un constructeur allemand dont les tarifs sont très élevés, il existe quelques constructeurs brésiliens dont les tarifs sont plus abordables, mais disposant de peu de références.

Dans la gamme de puissance 0,1-5 MWe, la technologie ORC permet généralement de viser un bon rendement énergétique notamment en cogénération. Les besoins en maintenance sont moins lourds que ceux des cycles vapeurs. Un autre intérêt est que cette technologie est aujourd'hui encore en développement avec des constructeurs relativement nombreux sur le marché. Parmi les limites, on retiendra un coût et une complexité plus élevés et la présence de produits inflammables

(potentiellement polluant) qui impose des contraintes spécifiques en termes de sécurité et de préservation de l'environnement.

En application biomasse, chaque installation est souvent particulière tellement il y a de diversité de combustibles biomasses et de configuration pour la production d'énergie. Le choix d'un procédé dépendra des priorités des décideurs du projet et des compromis qu'il sera prêt à accepter, notamment sur la corrélation entre coût d'investissement et performance énergétique.

Tableau 16: Grille d'analyse des procédés de combustion de biomasse

Type foyer de la chaudière à tube d'eau	Gamme de puissance (kW _{PCI})	Module production électrique	Rendement électrique kW _{el} /kW _{PCI} (%)	Type biomasse	Contraintes biomasse Humidité (H) Granulométrie (G)	Coût	Spécificités
Grille fixe (foyer classique ou volcan)	200 - 5 000	Moteur vapeur. Cycle organique de Rankine : ORC. Turbine vapeur de petite capacité	8-15 %	Bois massif, en plaquettes (PF), granulés, et divers Résidus agricoles.	H : 5-40 % G>10 mm Peu de fines Faible % Cendres	+	Conception simple, économique Pas de pièces mobiles
Grille mobile	400 - 40 000	Turbine vapeur multi-étagée. Cycle organique de Rankine : ORC. Moteur vapeur.	20-30 % 10-15% 5-15 %	Bois massif résidus agricoles (balle riz, bagasse,), granulés.	H : 5-60 % G > 10 mm Peu de fines Faible % Cendres	++	Pièces mécanique en mouvement Maintenance couteuse Fusion cendres problématique
Lit fluidisé dense	5 000 - 100 000	Turbine vapeur multi-étagée.	20-30 %	Biomasses lignocellulosiques de fine granulométrie. Prévoir une étape de fractionnement si besoin.	H : 5- 60 % G < 10 mm G homogène	+++	Complexe, maintenance importante Bonne efficacité thermique Faibles emissions (Nox) avec combustibles difficiles
Lit fluidisé circulant	25 000 - >500 000		30-35 %		H : 5- 60 % G < 10 mm (Hétérogénéité tolérée)	++++	Adapté à la co-combustion charbon/biomasse

3 Procédés de gazéification de biomasse

Depuis 2000, la gazéification connaît un regain d'intérêt très fort en raison de son potentiel pour des applications biocarburants et draine ainsi de nombreux acteurs industriels de la gazéification de charbon/déchets et de la filière carburant. Néanmoins, les seules installations de gazéification de biomasse de référence en fonctionnement aujourd'hui concernent des applications thermiques ou en cogénération. De nombreux constructeurs ont confirmé le potentiel de leurs technologies en accumulant des heures de fonctionnement. Ces acteurs sont positionnés aujourd'hui sur deux marchés principalement :

- L'électricité et/ou cogénération décentralisée de petites puissances (de quelques dizaines à quelques centaines de kWe).
- La cogénération de taille moyenne (entre 0.5 et 10 MWe).

3.1 Présentation générale

La gazéification de biomasse lignocellulosique dans un réacteur à haute température (800-1100 °C) permet de générer un gaz de synthèse, appelé syngaz, sous l'effet de réactions thermochimiques. La biomasse solide est ainsi convertie en un gaz combustible. La production d'électricité se fait ensuite par l'intermédiaire d'un moteur à combustion interne, qui entraîne une génératrice électrique. La figure XX présente les différents modules d'une installation de gazéification : Préparation/conditionnement de la biomasse, réacteur de gazéification, système d'épuration du "syngaz" (gaz de synthèse généré), et moteur à combustion interne couplé à un alternateur. Ces différents modules sont détaillés par la suite.

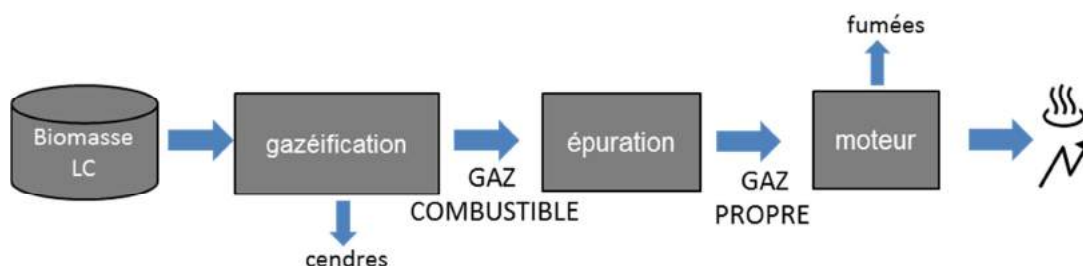


Figure 4 : Schéma de principe de la production d'électricité par gazéification de biomasse lignocellulosique

3.2 Description technique du procédé

Les différents modules constitutifs d'un procédé de production d'électricité par gazéification de biomasse sont décrits brièvement ci-dessous.

Le réacteur de gazéification, anciennement appelé **gazogène**, est le siège de la transformation de la biomasse en un gaz combustible en présence d'un gaz réactif (souvent de l'air) et sous l'effet de températures élevées (entre 800 et 1100 °C). Les technologies se déclinent en deux grandes catégories : les lits fixes et les lits fluidisés :

- *Les réacteurs à lit fixe* se rapprochent dans leur conception des réacteurs de combustion à grille fixe. Ils sont en général de construction simple et robuste et sont couramment classés en 2 types. Dans les réacteurs dits "contre-courant", l'alimentation en biomasse se fait en partie haute tandis que l'air est introduit par le bas, à contre-courant du combustible solide. Dans les réacteurs "co-courant", la biomasse et l'air se déplacent à co-courant, tous les deux vers le bas. À noter que les réacteurs étagés sont une variante de ceux à co-courant, mais contrairement à ce dernier, les étapes principales de pyrolyse puis de gazéification sont réalisées dans deux zones distinctes.

- Les réacteurs à lit fluidisé pour la gazéification sont de conceptions similaires à ceux utilisés en combustion ; ce sont essentiellement les conditions opératoires (température, atmosphère) qui vont les différencier. Suivant les applications, et notamment le type de biomasse utilisée et le niveau de puissance de l'installation, ils se déclinent eux aussi en lits fluidisés denses ou circulants.

L'épuration du gaz, en aval du procédé de gazéification, est nécessaire pour éliminer les produits indésirables tels que des particules, goudrons et composés inorganiques, et atteindre les spécifications qualitatives pour leur combustion en moteur. Pour les particules, le système de filtration associe un séparateur grossier de type cyclone à une filtration de type "lit granulaire" ou filtre à manches (céramiques, métalliques). Les filtres électrostatiques sont aussi parfois utilisés dans les procédés de gazéification. En ce qui concerne les goudrons, leur élimination peut se faire par lavage humide ou par craquage thermique ou catalytique.



Figure 4 : Exemple de centrale gazéification (Sra Em, Cambodge, 1 MWe)

Le moteur à combustion interne est alimenté en gaz de synthèse pour produire de l'électricité via un alternateur. Des moteurs à gaz, diesel ou essence sont utilisés après certaines adaptations/modification essentiellement en ce qui concerne la régulation. Un mélangeur en amont permet de mélanger le gaz de synthèse et air avant l'injection. Dans certains cas, des moteurs diesel sont utilisés en mode "dual fuel", ce qui permet d'injecter un mélange de gazole et de gaz de synthèse. L'intérêt est de pouvoir palier un défaut temporaire d'approvisionnement en biomasse ou un défaut technique de l'unité de gazéification, en maintenant la puissance électrique produite.

Parmi les solutions proposées, il faut signaler que

- des moteurs de cogénération (chaleur/électricité) sont disponibles ;
- le raccordement avec la génératrice relève de questions techniques complexes en termes de régulation, qui doivent être prises en compte en fonction de la modalité de production électrique envisagée (raccordement au réseau ou ilotage / autoconsommation).

Focus sur un procédé de gazéification de balle de riz (Cambodge)

Lieu : Cambodge - Oudong

Biomasse : Balle de riz

Exploitant : rizerie "Taing Von Seng"

Technologie: gazéifieur (Lien Hien) + groupe électrogène

Puissance installée : 1 MW thermiques (PCI) – 160 kWel + force motrice

La rizerie "Taing Von Seng" traite 25 tonnes/jour de paddy et génère environ 5 tonnes/jour de balle de riz, dont 20 % (soit 1 t/j) sont valorisés en électricité (autoconsommation) et en force motrice pour le process de décorticage. La technologie de gazéification fonctionne en 100% balle de riz, tandis que le un moteur de type "dual fuel" permet une flexibilité entre le gasoil et le gaz de synthèse). Quelques indicateurs:

- Consommation de gasoil a été divisée par 3 grâce au procédé de gazéification.
- Fonctionnement annoncé du gazéifieur: 8h/jour et 250 jours/an (non vérifié), avec 2 opérateurs.
- Maintenance tous les 15 jours, pièces d'usure à changer régulièrement (6 mois, 1 an).



Gazéifieur balle de riz couplé à un moteur dual fuel pour la production d'électricité et de force motrice dans une rizerie à Oudong (Cambodge)

A noter qu'une centaine de gazéifieurs balle de riz ont été installés au Cambodge ces dernières années dans des plages de puissances inférieures à 1 MWe ; les durées de fonctionnement et la fiabilité sont très variables d'une installation à l'autre.

3.3 Analyse critique des technologies

Le Tableau 17 présente un récapitulatif des principaux procédés pouvant être mis en œuvre dans un système de production d'électricité par gazéification de biomasse lignocellulosique.

Dans ce tableau, la technologie à lit fixe, bien adaptée à la production d'électricité de petites puissances, comprend 2 catégories dites « simples » et « performantes ».

- La première est considérée comme une technologie simple à faible coût d'investissement et généralement mise en place dans les pays du Sud (Asie en particulier).
- Les technologies de gazéification « performantes » sont plus complexes, plus chères mais plus fiables ; avec des références plutôt situées en contexte européen. En particulier, ce gain de performance se fait par le biais d'un contrôle/commande précis qui ajoute un niveau de complexité au fonctionnement et à la maintenance des équipements.

Au-delà de ces points, les 2 technologies présentent globalement les mêmes spécifications sur la biomasse entrante. Une limite des technologies « simples » reste la production de condensats (goudrons) dont la gestion peut s'avérer problématique d'un point de vue réglementaire et environnemental. A noter que le rendement énergétique plus faible n'est pas limitant dans le cadre de certains projets où la biomasse est disponible à coût très bas ou nul. Une limite de ces technologies reste cependant le changement d'échelle pour des raisons purement techniques (perte de charge créée par le lit fixe). Une solution alternative pour des puissances plus importantes consiste à coupler plusieurs réacteurs en parallèles pour alimenter en gaz de synthèse un ou plusieurs moteurs.

Les réacteurs à lit fixe de type contre-courant ne sont pas retenus dans ce tableau, car en raison d'une production trop importante de goudrons, ils ne sont pas adaptés à la production d'électricité et sont à réserver à des applications thermiques.

En ce qui concerne la solution lit fluidisé, ces réacteurs ont une complexité (et un coût) supérieure aux lits fixes, si bien qu'ils ne sont mis en œuvre que pour des puissances plus importantes. Le lit fluidisé dense n'est pas très souple d'exploitation, en particulier au niveau du contrôle du niveau du lit lors des variations de charge. De plus, son fonctionnement est optimal si les particules sont de taille calibrée, contrairement au lit fluidisé circulant qui dispose d'une plus grande tolérance vis-à-vis du combustible.

Tableau 17: Grille d'analyse des procédés de gazéification de biomasse

Type	Puissance (MW _{PCI})	Rendement électrique (%)	Type biomasse	Contraintes biomasse Humidité (H) Granulométrie (G) Densité (D)	Contraintes techno Goudrons (Gou) Particules (Part) (en g/Nm ³)	Coût	Spécificités
Lit fixe "simple " co-courant	100-3 000	10-15 %	Plaquettes forestières calibrées Biomasses denses, granulés	H < 20 % G : 20- 100 mm Pas de fines D > 300 kg/m ³	Gou : 0,2-8 Part : 1 à 100	+	Conception simple, économique Conversion incomplète carbone Contraintes sur l'épuration et la gestion des goudrons condensés
Lit fixe "performant" co courant ou étagé	200-1 500	15-25 %	Plaquettes forestières calibrées Biomasses denses, granulés	H < 20% Taille : 20-100 Pas de fines D > 300 kg/m ³	Gou : < 0,05 Part : 0,1-8	++	Contrôle commande + complexe Bonne maturité du procédé Conversion incomplète du carbone Gaz propre (peu de rejets liquides)
Lit fluidisé dense	2 000-30 000	20-30 %	Tout type de biomasse. Réduire la granulométrie à qq mm (et moins).	H < 40 % G : 10-100 mm D > 50 kg/m ³	Gou : 1 à 10 Part : 0,1-8	++ procédé « simple » +++ Procédé « performant »	Technologie compacte, coûteuse Attrition matériau du lit Gestion des goudrons dans les technologies "simples"
Lit fluidisé circulant	10 000-500 000	25-30 %		Idem mais hétérogénéité supérieure tolérée pour G et D.		++++	

4 Synthèse au regard des contextes de l'Océan Indien

Nous proposons ici une présélection de procédés potentiellement adaptés à des contextes qui pourraient être rencontrés en Océan Indien (Tableau 18). S'il est bien entendu que le choix final d'une installation devra se faire en fonction des critères listés en §1.1 et du contexte local et plus précis du projet, ces quatre procédés présélectionnés permettent de couvrir une grande plage de puissances et répondre à différentes applications, depuis la connexion au réseau national jusqu'à l'approvisionnement électrique de petites industries artisanales.

De manière générale, il s'avère que la puissance installée est corrélée au rendement et à la complexité de l'installation, et donc au coût de production d'électricité, à l'exception de la solution "gazéifieur performant" qui peut concurrencer en terme de performance les filières plus classiques par combustion et cycle vapeur.

Néanmoins, la maturité de la technologie et le nombre d'offres sur le marché sont des critères de sélection important. Par exemple la solution moteur vapeur, pertinente pour des petites productions électriques peut inquiéter un investisseur au regard du faible nombre d'offres ou de démonstrations sur le marché. C'est l'inverse que l'on observe pour le cycle ORC, dont le coût peut être un frein, mais dont le dynamisme de développement peut être un facteur rassurant. La technologie combustion grille fixe/mobile + turbine vapeur est clairement la plus mature et la plus développée dans le monde. Les constructeurs de chaudières sont nombreux et l'offre sur le marché important, ce qui permet de certains compromis entre coût, performance, durabilité, selon le contexte considéré.

Pour conclure

On peut retenir d'une manière générale que les technologies de combustion ou de gazéification de biomasse lignocellulosique offrent une palette de solutions qui couvre la quasi-totalité des situations qui peuvent être rencontrées en Océan Indien. La combustion de moyenne et grande puissance est une technologie plus éprouvée que la gazéification et elle est susceptible d'offrir des garanties supérieures en termes de fiabilité. Sur le créneau des petites puissances, la gazéification offre néanmoins des opportunités qui peuvent être adaptées à des contextes d'électrification rurale, comme peut en témoigner le nombre d'installations ERD à Madagascar reposant sur cette technologie.

Le présent rapport s'est focalisé sur les solutions 100% biomasse. La solution co-combustion charbon/biomasse, existante en COI s'appuie sur des technologies matures et éprouvées qui n'ont pas été détaillées et intégrées ici puisque les opérateurs de ces centrales disposent de leur expertise propre. L'enjeu majeur étant la substitution du charbon par des ressources biomasse. La principale contrainte porte sur la sécurisation de l'approvisionnement en biomasse de qualité maîtrisée et à un coût de mobilisation et préparation suffisamment compétitif avec celui du charbon fossile.

Quel que soit le procédé de valorisation énergétique, l'approvisionnement et la préparation de la biomasse constituent un point crucial afin de répondre aux spécifications du procédé considéré. Les options techniques de préparation conditionnement sont nombreuses et n'ont pas été détaillées dans le présent document. L'approvisionnement relève de questions qui ont été largement abordés dans la partie II du présent rapport.

On retiendra aussi que pour tout projet de mise en place d'une centrale de production d'énergie à partir de biomasse, une étude de pré faisabilité technique et économique est indispensable. Dans le cas d'une faisabilité confirmée, la définition du cahier des charges permettra de faire des choix technologiques pertinents et adaptés au contexte local. Sur cette base, une centrale à biomasse fonctionnant et entretenue dans les règles de l'art peut répondre au besoin d'une production fiable et pérenne tout au long de sa durée de vie. En termes d'efficacité énergétique, la cogénération (co-production de chaleur et d'électricité) doit être encouragée, et sera même indispensable dans certains cas de contraintes économiques.

Tableau 18: Présélection de procédés de conversion de conversion thermochimique pour le contexte OI

Sélection de procédés de bioélectricité adapté à OI	Puissance (kW _{PCI})	Rendement électrique (% sur puissance PCI)	Type biomasse	Limites	Coût	Application/préférence d'usage
Combustion Grille fixe/mobile + - turbine vapeur - cycle ORC	1 000 - 40 000 1 000 - 10 000	20-30 % 10-15 %	Tout bois Résidus agricoles (balle riz, bagasse,) Granulés	Maintenance Expertise locale Cendres	+++	Réseau électrique national Site isolé (Entreprise, ERD) Valorisation résidus d'agro-industrie
Combustion Grille fixe + moteur vapeur	100 - 1 000	8-15 %		Disponibilité de la technologie Fiabilité / durabilité	+	Petit site isolé (Entreprise, ERD) Valorisation résidus petite agro-industrie
Gazéifieur lit fixe "performant"	100 - 1 500	15-25 %	Tout bois Balle de riz Résidus agricoles "grossiers" (coques, rafles, ...) Granulés	Maintenance Contrôle commande sophistiqué Expertise locale Souplesse biomasse (granulométrie)	++	Réseau électrique national Petit site isolé (Entreprise, ERD) Valorisation résidus d'agro-industrie
Gazéifieur lit fixe "simple"	100 - 3 000	10-15 %		Gestion goudrons Fiabilité / durabilité	+	Petit site isolé disposant de résidus (ERD, petite agro-industrie artisanale)

PARTIE IV : Conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité à partir de balle de riz - Région Boeny

1 Introduction : contexte et objectifs de l'analyse

1.1 Objectifs spécifiques et méthodologie

L'objectif principal de cette présente analyse est d'analyser les opportunités et les contraintes de l'implantation d'une unité de production de bioélectricité dans une région de Madagascar.

L'étude générale sur les ressources en biomasse de Madagascar a mis en évidence que la balle de riz était la ressource la plus abondante, la plus concentrée spatialement et la plus disponible, et ce dans de nombreuses régions de Madagascar. Elle est notamment concentrée spatialement dans 3 Régions: Alaotra Mangoro autour du lac Alaotra, Vakinankaratra, Sofia et Boeny autour de Marovoay.

1.2 Analyse préalable du contexte : intérêt et potentiel de la région Boeny

La Région Boeny a été choisie comme focus d'une étude de cas sur les « Conditions d'implantation d'une unité de bioélectricité » à Madagascar. Cette région, le District de Marovoay plus particulièrement, a été sélectionnée parmi les régions productrices de riz à Madagascar pour trois principales raisons qui reflètent le contexte et le potentiel en biomasse « balles de riz » de la zone.

La Région Boeny, une des Régions productrices de paddy de la grande île avec une grande concentration de la production au niveau de deux Districts dont Marovoay.

Madagascar produit environ 4 millions de paddy en une année (Min.Agriculture, 2018). La Région Boeny figure parmi les régions productrices de riz à Madagascar. Elle produit jusqu'à 150 000t/an (en 2017). Parmi les autres Régions productrices de riz de l'île, la Région Boeny bénéficie de l'existence du grand périmètre irrigué de Marovoay de 20 000ha¹⁴ qui, d'ailleurs est considéré comme l'un des greniers à riz de Madagascar. Elle se caractérise aussi par la forte concentration de paddy sur deux Districts dont Ambato Boeny et Marovoay : en 2017, ils ont produit respectivement 36% et 48% de la production de la région.

Le District de Marovoay, un site potentiel pour la production de bioélectricité en se basant sur le potentiel disponible de biomasse « balles de riz »

Le potentiel disponible du District de Marovoay est en relation directe avec la superficie rizicole, le nombre de saisons culturales, la présence des unités de transformation de paddy (dépailleurs et rizeries notamment).

Avec une plaine rizicole de plus de 20.000ha, le District de Marovoay dispose de 33% de la superficie rizicole totale de la Région Boeny. Certaines parties de cette aire rizicole de Marovoay présente la possibilité de 4 saisons rizicoles par an en fonction de l'accès à l'irrigation et de la pluie. Les quatre saisons rizicoles sont : Jeby, Dimbihalotra, Atriatry, Asara

En outre, les études antérieures sur le District de Marovoay montrent une forte concentration d'unités de transformation de paddy au niveau de 2 villes : Marovoay Ville et Fokontany Ankazomborona avec 22 unités (dépailleurs, rizeries) sur 46 au niveau du District de Marovoay (GAZULL L. et Al, 2014).

Ce contexte traduit une potentielle en concentration de balles de riz au niveau des deux villes. Ceci agirait en faveur de la mise en place d'un système de collecte pour l'approvisionnement d'une

¹⁴ Circonscription de l'Agriculture et de l'Elevage – Marovoay, 2018

éventuelle centrale à biomasse balles de riz dans la zone. Il constitue ainsi un avantage comparatif de la zone pour une production de bioélectricité.

Le District de Marovoay, une zone faiblement électrifiée

Au niveau de la Région Boeny, le réseau de la société Jirama couvre seulement les 5 chefs-lieux de Districts à savoir Mahajanga, Ambato Boeny, Marovoay, Mitsinjo, Soalala. Les centrales de la Jirama sont des centrales thermiques isolées. La puissance totale de ces centrales est d'environ 20 MW de puissance disponible.

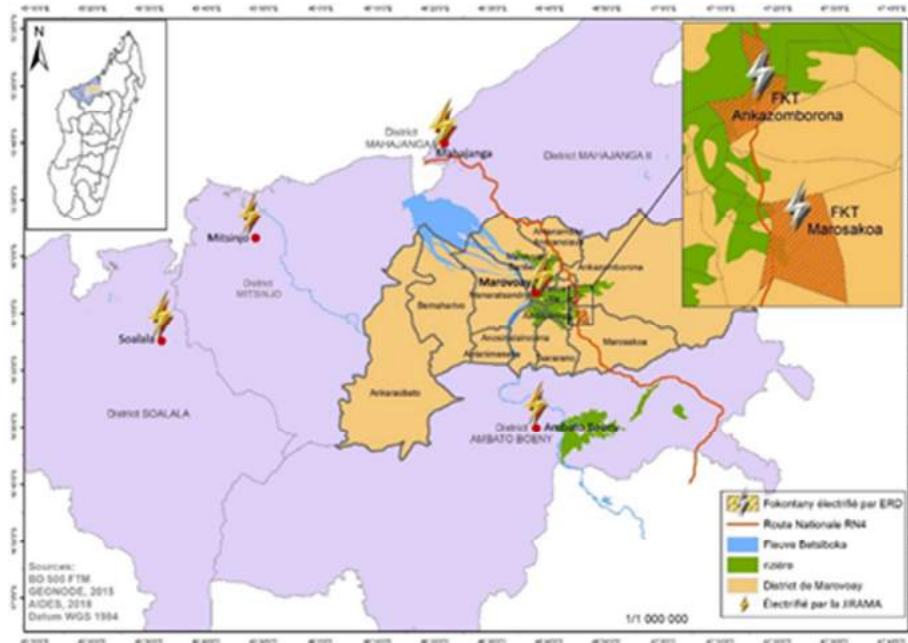


Figure 4 : Situation de l'électrification dans la région Boeny, district de Marovoay (source : Données ORE (2017), AIDES 2018)

Sous la régulation de l'Agence d'électrification rurale ADER, 11 centrales ERD (Electrification rurale décentralisée) sont en place au niveau du District de Marovoay avec une puissance disponible totale de 508 kW dont 104 kW de centrale biomasse et 404 kW centrale thermique : 1 centrale ERD de chaque pour les Districts de Mahajanga et de Mitsinjo, 2 centrales ERD au niveau du District de Marovoay, 7 centrales ERD à Ambato Boeny dont 2 centrales à biomasses.

Concernant le District de Marovoay, 2 localités sont électrifiées sur 12 chefs-lieux de Dommunes dont la Commune Marovoay Ville électrifié par le réseau de la Jirama. L'ERD concerne le Fokontany d'Ankazomborona et du Fokontany de Marosakoa (ce dernier n'est pas actuellement fonctionnel). Néanmoins, le taux de raccordement est encore faible.

1.3 Méthodologie

L'analyse des opportunités et contraintes de l'implantation d'une unité de production de bioélectricité dans la Région du Boeny a été menée en 4 étapes :

- Analyse de la disponibilité en biomasse et de sa localisation
- Construction de 3 scénarios contrastés de production électrique répondant aux besoins de la région
- Analyse technico-économique des 3 scénarios
- Comparaison et discussion des résultats

2 Analyse de l'offre potentielle en balle de riz

2.1 La production rizicole dans le district

2.1.1 Le système de production de paddy

Une vaste plaine rizicole dépendante du système d'irrigation

La surface rizicole du District de Marovoay est subdivisée en 13 secteurs ayant accès à un système d'irrigation. Les secteurs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 se localisent sur la rive droite de Betsiboka. Les secteurs 9, 10, 11, 12 et 13 sont sur la rive gauche du fleuve Betsiboka.

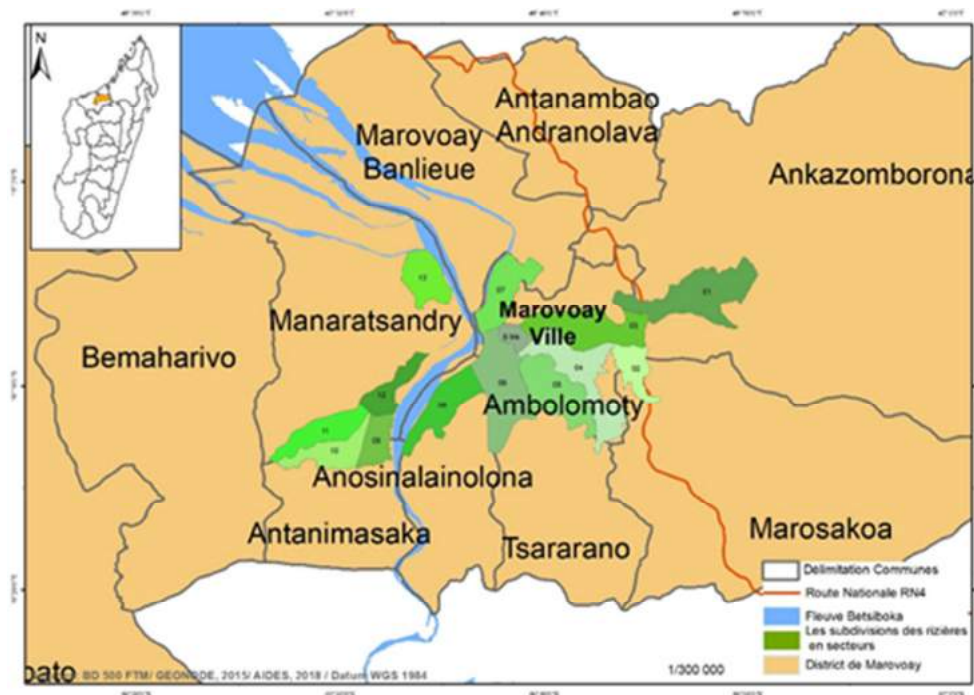


Figure 4 : Répartition des rizières irriguées des 13 secteurs du Marovoay (source : données de la Circonscription de l'Agriculture et de l'Elevage Marovoay, 2018)

Riziculture dominée par le système de riziculture traditionnel

Le système de riziculture traditionnel reste le système cultural le plus appliqué à Marovoay. En effet, les techniques rizicoles améliorées exigent en général : (i) la gestion en eau de la rizière, (ii) une quantité importante d'engrais tant organiques que minéraux, (iii) des entretiens, notamment, les sarclages (dès fois, croisés et multiples selon la technique améliorée choisie) : des opérations difficiles à réaliser par les riziculteurs. Notre enquête a révélé que :

- Le faible accès aux intrants limite l'application des techniques améliorées même si les 2/3 de l'activité des paysans du Marovoay sont constitués par la riziculture (culture proprement dite composée surtout de la préparation du sol, du repiquage et de la récolte, aménagement des canaux, etc.).
- La gestion en eau de la rizière est pénalisée par la vétusté des infrastructures hydroagricoles.
- La difficulté d'accès aux ressources financières limite leur possibilité d'application des activités nécessitant de main d'œuvre dont le repiquage en ligne et le transport des engrais vers les rizières. La plupart des paysans se contentent des dépôts des limons apportés par la crue et les eaux de ruissellement pour améliorer la fertilité du sol, notamment pour les rizières qui longent le fleuve Betsiboka et ses affluents.

- Seulement, une petite partie des paysans bénéficiaires de l'appui techniques des ONG ou programmes (comme le programme BVPI-PURSAPS¹⁵) pratiquent la technique rizicole améliorée dans le District de Marovoay.

Possibilité de 4 saisons rizicoles dans le district de Marovoay en fonction des possibilités d'irrigation

La pluie, le fleuve Betsiboka qui parcourt la zone, accompagné de son cycle de crue annuel permettent de nombreuses possibilités de rizicultures. Ainsi, 4 saisons rizicoles sont observées en fonction des possibilités d'irrigation. Elles se différencient par leur période culturale qui est conditionnée par l'alimentation en eau.

- Vary ASARA ou riz de saison qui se pratique pendant la saison pluvieuse. Son alimentation hydrique est assurée, uniquement, par la pluie. Sa pratique exige donc, une bonne condition de drainage. Il se rencontre surtout sur les bas de « tanety » et sur la partie exondée de la plaine.
- Vary ATRIATRY : une riziculture de submersion semi-pluviale. Son alimentation hydrique est assurée par : (i) les dernières pluies de la saison pluvieuse (Mars, Avril), (ii) les eaux d'irrigation des barrages. C'est une riziculture de décrue pratiquée sur la partie à assèchement rapide de la plaine inondée ou sur les rizières de berges.
- Vary JEBY ou riz de contre saison : une riziculture de décrue qui profite pleinement de la crue pour le recyclage de la fertilité. Il constitue la saison la plus favorisée sur l'ensemble de la plaine inondée de Marovoay dont les eaux de crues se retirent relativement lentement. Il est totalement irrigué.
- Vary DIMBIHALOTRA : une riziculture de la saison sèche qui profite la fin de la saison d'irrigation du vary JEBY. Il suit la riziculture JEBY précoce et qui profite d'une possibilité d'irrigation pour une deuxième saison de culture avant l'arrivée de la crue. Son alimentation hydrique est surtout assurée par les principaux canaux.

Tableau 19 : Période culturale des 4 saisons rizicoles dans le District de Marovoay

Saisons rizicoles	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov
Asara												
Atriatry												
Jeby												
Dimihalotra												
Période de récolte	Dimihalotra			Asara			Atriatry			Jeby		

Source : Centre de service agricole Marovoay (2018) ; notre enquête

En effet, le début d'une période culturale est conditionné par l'alimentation hydrique de la rizière. Les saisons ASARA et ATRIATRY sont pratiquées sur 12 000ha tandis que la saison JEBY est réalisée sur 16 000ha. Environ, 8 000ha de rizières peut recevoir les 2 saisons. La saison DIMBIHALOTRA est la moins pratiquée. Elle n'est applicable que sur les rizières qui sont alimentées, seulement, par les canaux principaux d'irrigation. Sa superficie est variable suivant l'entretien de ces infrastructures hydroagricoles et la superficie concernée par cette saison est incluse dans ces données.

Il est à noter que des ouvrages de dérivation traditionnels assurent l'irrigation de certains périmètres rizicoles de la plaine. Tandis que des petites stations de pompage individuelles sont utilisées pour les zones situées le long du Betsiboka. Ces ouvrages sont actuellement victimes de la dégradation des bassins versants, entraînant son envasement.

¹⁵ Programme de protection des Bassins Versants et des périmètres irrigués

Des rendements de paddy différents selon la saison

Si le rendement peut théoriquement atteindre 4 à 6t/ha, les informations collectées auprès des riziculteurs et du responsable du CSA nous montrent la variation de ce rendement pour chaque saison :

- Le rendement varie de 1 à 2t/ha, pour les saisons ASARA : une saison tributaire de la pluie
- Le rendement varie de 1 à 2t/ha pour la saison ATRIATRY : une saison tributaire des dernières pluies et des eaux d'irrigation des barrages ;
- Le rendement moyen est de 3,5t/ha pour la saison JEBY : une culture totalement irriguée. Il peut atteindre jusqu'à 6t/ha pour les paysans qui pratiquent des techniques améliorées.
- Le rendement est généralement de 2,5t/ha pour le DIMBIALOTRA, également une culture irriguée

7 variétés sont les plus utilisées à Marovoay. Toutefois, les informations précises sur le rendement de production par variété font défauts. En effet, pour les riziculteurs, le choix de variété repose sur leur rusticité (tolérance au froid), leur résistance aux ennemis cultureux, leur convenance sur différents étages écologiques et la durée de leur cycle. Généralement, tous ces variétés ont, en moyenne, un cycle cultural de 100 à 135jours (environ 4 mois).

Tableau 20 : Les variétés de riz utilisées dans le district de Marovoay

Saisons	Saison ASARA	Saisons ATRIATRY, JEBY et DIMBIHALOTRA
Variétés	Taya, Vary vato, Mahavonjy	Tsiresindrano (X398), Mahadigny (X360), Tsipala et Miafimboa (IR 38)

Source : Notre enquête (FOFIFA Tsararano-Marovoay)

2.1.2 Production annuelle de paddy dans le District

Le tableau suivant récapitule la production rizicole annuelle (incluant les 4 saisons) du District Marovoay depuis 2012. Au cours des six dernières années, la production annuelle évoluait en dent de scie, pouvant varier du simple au double entre 60 000 t et 120 000 t.

Tableau 21 : Production rizicole du District de Marovoay

Année	Production de paddy (t)
2012	119 492
2013	62 612
2014	80 781
2015	122 300
2016	123 000
2017	77 000

Source : MINAE, CIRAE Marovoay 2018

La variabilité de la production est principalement due à l'alimentation en eau de la rizière liée aux aléas climatiques. C'est notamment le cas de la baisse remarquable de la production en 2017, due à l'insuffisance de la précipitation durant la saison pluvieuse 2016-2017.

A ces aléas s'ajoute la difficulté de la gestion hydrique qui est caractérisée par l'obstruction des canaux d'irrigation et l'insuffisance des entretiens des réseaux hydroagricoles. La diminution de la surface à cultiver, vu l'importance des effets d'ensablement des rizières, est estimée à 500ha depuis ces dernières années.

Il est à mentionner qu'il semble difficile d'estimer le rendement annuel. En effet, ce dernier varie :

- D'une saison à l'autre : si le JEBY procure le rendement le plus élevé, l'ATRIATRY et l'ASARA ne donnent que 1 à 2t/ha.
- De l'effectif de la culture par année : Comme il est pratiquement impossible de faire ces 4 cultures annuellement sur une même parcelle, la riziculture bisannuelle est possible, parfois trisannuelle (mais à superficie moindre) :
 - Asara – Atriatry
 - Asara – Jeby
 - Asara – Atriatry et Dimbialotra

Une seule saison peut être, également, observée si l'irrigation est difficile. Dans ce cas, des paysans se contentent de la saison ASARA qui dépend totalement de la pluie. Par ailleurs, une même rizière ne peut pas recevoir une riziculture bisannuelle chaque année. Cela dépend de son alimentation hydrique.

Ainsi, il se peut que des rizicultures bisannuelle, trisannuelle et annuelle contribuent à la variation de la production rizicole du District Marovoay.

A signaler en revanche, l'utilisation de variétés améliorées qui, à partir de l'année 2015, serait la principale raison de l'amélioration de la production rizicole à Marovoay.

En reprenant la superficie de totale annuelle recevant la riziculture à 28 000 ha, on estime ainsi des rendements globaux compris entre 2,5 et 4,4 t/ha/an. Ces rendements calculés à l'année intègrent donc de possibles récoltes bi-annuelles sur certaines zones.

2.1.3 Répartition saisonnière des productions

Avec les superficies rizicoles mentionnées ultérieurement pour chaque saison, en reprenant les productions annuelles ci-dessus (Tableau 22), on peut donc, en toute première approximation, estimer les productions saisonnières suivantes pour l'année 2017 :

- Saisons ASARA et ATRATRY (mars-août) : de l'ordre de 33 000t ;
- Saison JEBY (Septembre à Novembre) : de l'ordre de 44 000t. mais
- Pour la saison DIMBIHALOTRA sa production est incluse dans les 3 autres saisons faute de données spécifiques.

2.1.4 Flux du paddy : quantité expédiée hors du district vs riz transformé

Selon les données collectées, environ 20% de la production totale en paddy du District de Marovoay est exportée sans transformation. Ainsi, 80% de la production totale est transformée à l'intérieur du District.

2.2 La production de Balle de riz

2.2.1 Description de la filière de transformation du paddy

Les paddy non expédiés hors du District, sont principalement livrés au niveau des unités de transformation de la Commune de Marovoay ville et celle d'Ankazomborona. Les unités de transformation se concentrent surtout au niveau de ces deux Communes : 15 dépailliers à Ankazomborona et pour Marovoay ville, on note 10 dépailliers et 4 rizeries.

Une quantité importante de paddy est transformée au niveau de la Commune de Marovoay Ville. On estime que **50%** de la transformation du paddy est réalisée à **Marovoay** ville du fait de la concentration d'unités de transformation. A titre d'exemple : Marovoay ville reçoit environ 70% de la production de la Commune de Tsararano, 75% de la production de la Commune d'Ambolomoty et plus de 50% de la production de la Commune d'Antanambao Andranovelona.

D'importants collecteurs et unités de transformation se trouvent également dans la Commune d'Ankazomborona. Comme cette Commune se situe sur l'axe de la RN4, certains transporteurs ou

collecteurs venant d'autres Communes et même des Districts voisins comme Mahajanga II et Ambato Boeny transforment leurs paddy à Ankazomborona (chef-lieu de la Commune) avant leur expédition à Antananarivo, Mahajanga et parfois à Maevatanana. On estime qu'**Ankazomborona** reçoit plus de **20%** du paddy produit dans le District.

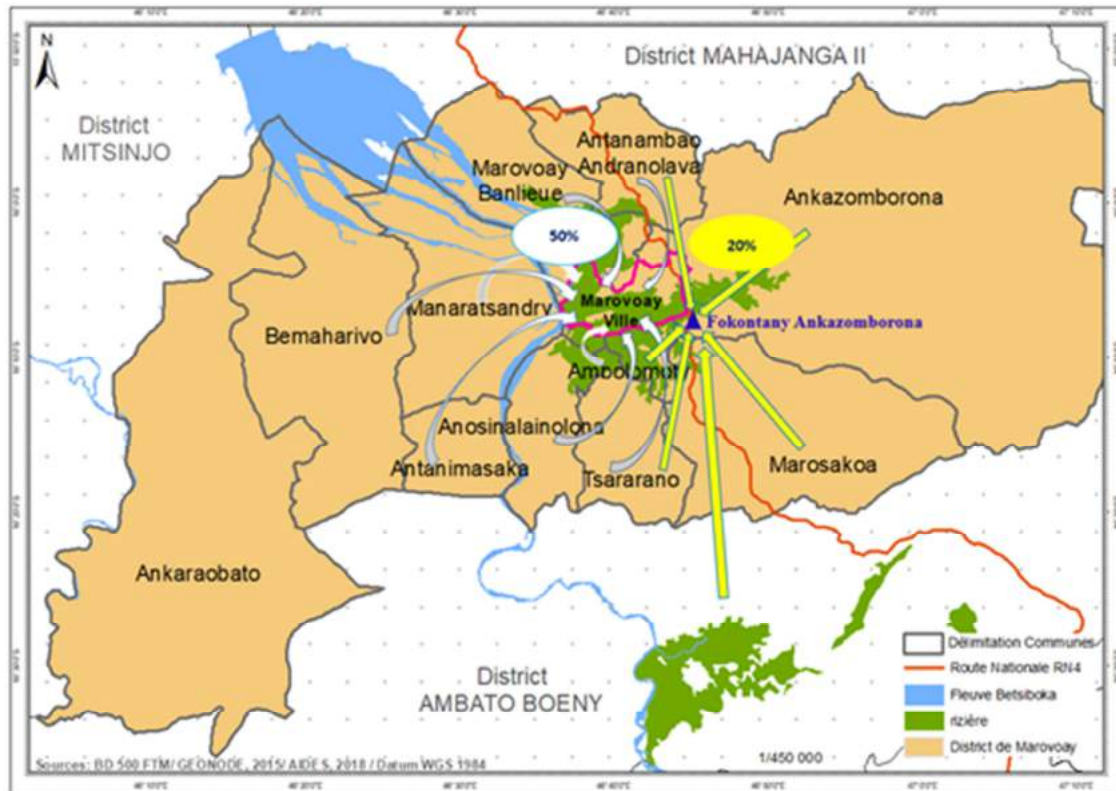


Figure 4 : Flux et provenance des paddy transformés dans le district de Marovoay

Des propriétaires des unités de transformation de paddy qui sont en même temps des collecteurs de paddy

Généralement, les opérateurs locaux dans la filière riz sont à la fois collecteurs, transporteurs, transformateurs et grossistes. La majeure partie des propriétaires des dépailliers et surtout les rizeries sont propriétaires de grande surface rizicole.

Les collecteurs de Marovoay ville et d'Ankazomborona collectent les paddy auprès des autres riziculteurs pendant les périodes de haute saison (moisson ASARA et JEBY), ils font également le stockage de paddy ou du riz blanc pendant la moisson. Les paddy sont transformés dans leur propre usine de transformation. Les produits sont généralement écoulés sur le marché à l'extérieur de Marovoay : généralement Mahajanga et Antananarivo, parfois à Maevatanana lors de la période de pluie (Décembre-Mars) afin d'éviter la pénurie de riz mais aussi en profitant de la hausse du prix à cette période.

2.2.2 Les unités de transformation du paddy

Existence de différents types d'unité de transformation de paddy

Les unités de transformation de paddy dans le District de Marovoay sont classées en trois types : les décortiqueurs, les dépailliers et les rizeries (y compris les mini-rizeries).

- Les décortiqueurs sont des petites machines où l'opération reste le décorticage des paddy. Cependant, le traitement de paddy est intense que même les balles de riz sont broyées. De

cette manière, les sous-produits des décortiqueurs sont des sons de riz forts et des sons de riz fins avec des brisures.

- Le terme « dépaillleur » est attribué aux usines où les étapes de transformation de paddy passent avant tout par le dépaillage puis le décortique, le paddy peut ensuite passer par d'autres opérations comme le blanchissage. Ces unités peuvent, ainsi, avoir comme sous-produits des balles riz ainsi que du son de riz fin.
- Les rizeries sont des usines d'une capacité de transformation élevée (jusqu'à 7t de paddy par jour). Divers procédés peuvent être effectués par ces unités avant le décortique dont l'épierrage, le vannage, le triage. Puis, après décortique, il peut y avoir des calibrages, le polissage et le blanchissage. Les balles de riz et les sons de riz sont aussi des sous-produits des rizeries et les mini-rizeries.

La concentration des balles de riz est, ainsi, rencontrée auprès des « dépaillleurs » et des « rizeries ». La figure ci-après met en détail les différences entre ces différentes unités de transformation de paddy.

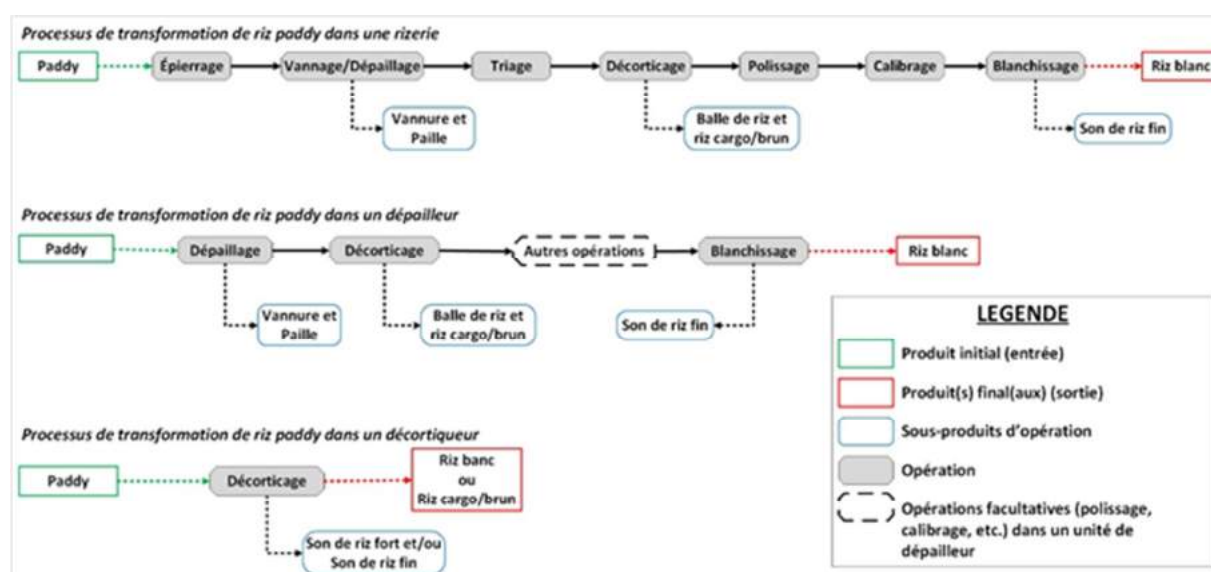


Figure 37 : Schéma récapitulatif des processus de transformation de paddy chez les types d'usines à Marovoay

Nombre et caractéristiques d'unités de transformation

Selon les informations recueillies auprès des autorités communales, le nombre d'unités de transformation de paddy est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Nombre d'unité de transformation de paddy dans les communes visitées

Communes	Rizerie	Dépaillleurs	Décortiqueurs
Marovoay Ville	04	10	14
Ankazomborona		15	
Tsararano		06	06
Ambolomoty		05	08
Marovoay Banlieu		01	
Antanambao Andranolava		05	02
Total enregistré	04	42	30

En général, le pic de travail de ces usines de transformation de paddy se situe pendant le mois de Mars à Juin (moisson de la saison ASARA) et mois de Septembre à Novembre (moisson de la saison JEBY). C'est durant la saison de pluie (Décembre à Mars) que ces unités fonctionnent le moins dans

une année, car c'est la période des travaux dans les champs (ASARA), mais aussi le problème d'accessibilité de certaines zones rend difficile l'évacuation des paddy.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des unités de transformation approchées, soit, deux rizeries, un décortiqueur et 14 dépaillleurs

Tableau 23 Quelques caractéristiques d'unités de transformations de paddy rencontrées

Communes	Classe	Caractères des usines de transformation visitées			
		Puissance (kW)	Consommation en carburant (litres/tonnes de paddy)	Rendement en balles de riz (%)	Transformation journalière de paddy* (tonnes/jours)
Marovoay Ville	Dépaillleur	17	4	ND	5
	Mini-rizerie	35	4	21	-
	Dépaillleur	33	3	20	6
	Rizerie**	35	6	29	7
Ankazomborona	Dépaillleur	59	3	22	7
	Dépaillleur	ND	3	18	-
	Dépaillleur	26	4	ND	-
	Dépaillleur	ND	3	15	-
	Dépaillleur	35	3	26	-
Antanambao	Dépaillleur	24	5	20	4
Andranolava	Dépaillleur	22	3	ND	8
	Dépaillleur	19	4	ND	4
Ambolomoty	Décortiqueur	11	ND	0	-
	Dépaillleur	18	5	15	-
	Dépaillleur	19	3	28	3
	Dépaillleur	19	4	16	4 - 5
Tsararano	Dépaillleur	24	4	ND	3 - 5

* durant les périodes de haute saison ; ** deux moteurs de 35kW chacun

2.2.3 Quantité de Balles de riz « mise à disposition »

Sachant qu'environ 80% de paddy produit dans le District de Marovoay sont transformés en interne, le tableau suivant donne un aperçu sur la quantité minimale de balles de riz (sans compter les paddy venant des autres districts) qui peut être théoriquement localisée dans le District de 2012 à 2017. L'estimation de cette quantité a été effectuée à partir du rendement moyen en balle de riz des unités de transformation de paddy du District de Marovoay qui est de 19%, énoncé par Gazull et *al.* (2014).

Tableau 24 : Estimation de la production de balle de riz à Marovoay

Année	Production de paddy (t)	Balle de riz estimé (t)
2012	119 492	18 163
2013	62 612	9 517
2014	80 781	12 279
2015	122 300	18 590
2016	123 000	18 696
2017	77 000	11 704

Sources des productions de paddy : MINAE (2012-2014), CIRAE (2015-2017), notre calcul

On estime donc que 50% de cette quantité annuelle de BdR sont concentrées à Marovoay ville.

2.3 Les utilisations concurrentes à l'énergie (fertilisation, combustible, autres...)

Existence d'autres usages de balles de riz mais en quantité marginale

Pour le besoin local, environ 3% de la production totale en Balles de riz produit est utilisée (GAZULL L. et Al en 2014). En effet, la valorisation est très marginale localement (fertilisation, combustible pour la carbonisation, briqueterie, conservation de glace alimentaire...).

A signaler notamment que l'usage de balle de riz en fertilisation/amendement est très peu pratiqué en raison des contraintes de transport. Elle est parfois brûlée sur place (sur les rizières au bord de route) mais les paysans sont conscients de l'impact négatif sur la qualité du sol.

Finalement, la quasi-totalité (97%) de la balle produite est non utilisée et disponible pour la production d'énergie. Des balles de riz inutilisées et éparpillées en tas longent la route qui sort du Marovoay ville. Des fois, elles sont brûlées.



Source : AIDES, 2018

Figure 4 : Photographies de balle de riz inutilisée parfois brûlée

2.4 Les contraintes de mobilisation des balles de riz

Capacité de stockage limitée des unités de transformation de paddy

Les unités de transformation de paddy (dépailleurs et rizeries) ont des stocks de balle de riz sur leur site d'implantation. Ces balles de riz sont laissées à l'air libre, ainsi lorsqu'elles s'amassent trop, surtout pendant les périodes de haute saison, le vent les éparpille partout, polluant de cette manière les alentours. Ce contexte génère des conflits sociaux et les propriétaires de ces unités sont contraints de les évacuer une fois le volume est jugé important (par semaine ou toutes les deux semaines).

Des balles de riz considérées comme gratuites dans le court et moyen termes, des coûts de transport à envisager

Selon les enquêtes menées auprès des propriétaires d'unités de transformation, les balles de riz seront offertes gratuitement si des opérateurs s'y intéressent. En revanche, les divers coûts (mains d'œuvre, transport, etc.) doivent être au frais de ces opérateurs. En se référant à l'expérience de la centrale à biomasse d'Anjajia, la balle de riz pourrait être offerte gracieusement à moyen et long terme, c'est-à-dire au bout de 5 – 6 ans. Ainsi, l'exploitant d'une centrale à biomasse à Marovoay pourrait garder son tarif au bout de cette période sans le risque d'avoir de coût supplémentaire à cause de l'achat de la balle de riz.

L'expérience de la centrale d'Anjajia nous montre que le transport avec le chargement et le déchargement des balles de riz peuvent faire partie des tâches du personnel de la centrale, si le ramassage se fait aux alentours de la centrales (dans la commune hôte). Le coût de transport de ces Balles de riz vers une centrale à biomasse est toutefois, un paramètre à tenir en compte une fois que le lieu d'approvisionnement est plus éloigné de la centrale. Les dépenses hebdomadaires actuelles des propriétaires d'unités de transformation pour l'enlèvement des balles de riz constituent une

référence à ce coût de transport. En effet, cette dépense varie entre 50 000 à 80 000Ar par semaine et les balles de riz sont transportées par des camions de 10t.

2.5 Evaluation d'autres gisements de biomasses

Les pailles de riz fortement utilisées pour l'alimentation des bétails

La paille, accessible auprès des riziculteurs, est déjà utilisée pour l'alimentation du bétail. Cette utilisation est très importante d'autant plus que la traction animale est la technique rizicole la plus utilisée à Marovoay, ce qui prouve que la vie des paysans est étroitement liée à l'élevage bovin.

Pour éviter les conflits d'usage, la paille est donc considérée comme non disponible pour une valorisation énergétique.

Quantité négligeable et non concentrée d'autres ressources en biomasse ligneuse

La grande diversité des ressources agro-écologiques de Marovoay permet une large gamme de culture. Parmi les activités productives de Marovoay, même si la riziculture occupe la première place, d'autres spéculations comme l'arachide et le maïs, peuvent procurer des biomasses mais à quantité négligeable.

- Pour le maïs, sa superficie est généralement 14 000ha (CREAM 2013) offrant 2 377t de maïs grain (MINAE, 2014), soit environ 2 800t de canne (1t de graine sèche procure 1,2t de canne selon FAO).
- Pour l'arachide, sa superficie est estimée à 10 100ha (CREAM 2013). La biomasse valorisable est la coque.

De plus, le ramassage est pénible étant donné que, non seulement, elle n'est disponible qu'auprès des paysans producteurs, mais l'accessibilité des routes est difficile surtout pendant la saison des pluies.

3 Infrastructure – contraintes

En général, dans le District de Marovoay les seules infrastructures routières goudronnées sont (i) la portion de la Route nationale RN4 ; (ii) une route d'environ 10km à partir de la RN4 conduisant vers la Commune de Marovoay Ville. Les voies d'accès des différentes communes qui ne se trouvent pas au bord de la RN4 sont toutes des routes secondaires. Elles sont accessibles en période sèche et difficilement accessible voire inaccessible pour certaines zones en période de pluie. Parmi les Communes visitées, celles d'Ambolomoty et de Tsararano ainsi que la grande partie de la Commune Marovoay Banlieue sont difficilement accessibles en période de pluie. Toutefois, les routes commencent à être praticables pendant les périodes de moisson du riz Asara (Avril- Mai) facilitant ainsi la sortie de la production. L'accès aux Communes de la rive gauche du fleuve de Betsiboka (partie Ouest du District) dépend toute l'année du transport fluvial.

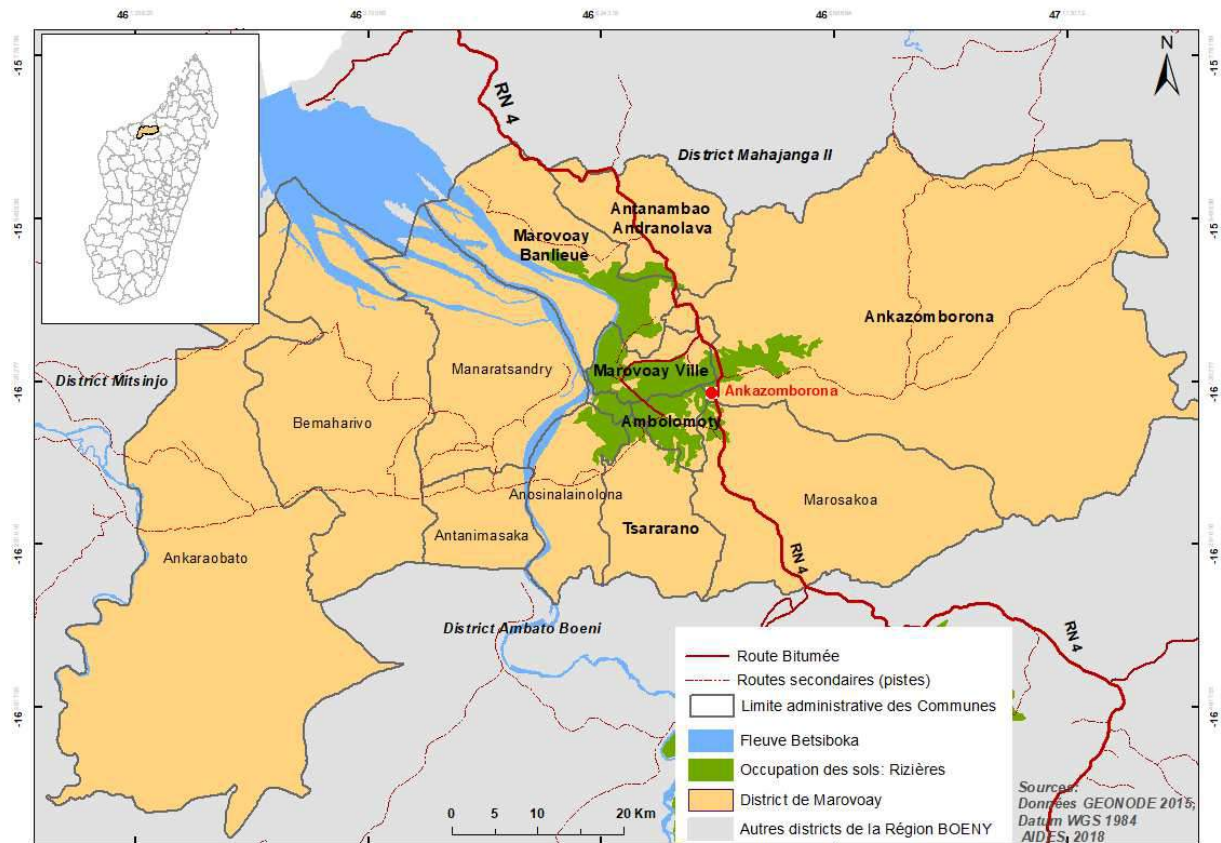


Figure 38 : Les infrastructures routières dans le District de Marovoay

4 Analyse des besoins en électricité

Les besoins en électricité dans le District de Marovoay peuvent être analysés généralement sous trois angles : le besoin lié au raccordement au réseau de la Jirama, le besoin dans l'électrification rurale et le besoin des unités de transformations de paddy.

4.1 Raccordement au réseau sur Marovoay ville

Situation actuelle avec la Jirama

Dans la ville de Marovoay, la Jirama fonctionne avec une centrale thermique d'une puissance installée de 1508kW pour 720kW de puissance disponible. Cette différence est le résultat de la défaillance technique de certains groupes électrogènes depuis des mois.

La centrale fournit de l'électricité pour 1 909 clients qui sont généralement des ménages (Novembre 2018) dans les Communes de Marovoay Ville et d'Ambolomoty (à moins de 7km vers l'Ouest du chef-lieu de la Commune de Marovoay). Selon le directeur de la Jirama, ce nombre représente environ 30% de la population que la centrale installée à Marovoay devrait pouvoir couvrir. Dans la Commune de Marovoay Ville, 90% des fokontany de la Commune bénéficient du réseau de distribution d'électricité (sur un rayon de moins de 8km). Toutefois, les ménages de certains Fokontany de la périphérie ne sont pas tous raccordés. Les raisons du non-raccordement de ces ménages sont, selon le premier responsable de la Jirama à Marovoay, leur manque de motivation pour le paiement régulier de facture d'électricité, non seulement, avec les coupures fréquentes, mais aussi le manque de sensibilisation (sur les démarches à faire notamment).

Les intérêts de la JIRAMA pour de nouveaux moyens de production

L'extension du réseau est envisagée par la Jirama à Marovoay ville. Un projet d'extension du réseau de distribution pour atteindre le Fokontany de Mandrosoa à 12km de la ville est préparé depuis quelques années. Augmenter le nombre des ménages bénéficiaires de l'électricité dans les Fokontany périphériques constitue la priorité de l'agence Jirama de Marovoay Ville pour rentabiliser les installations en place.

Les responsables de la centrale expriment leur intérêt pour l'hybridation de la centrale avec d'autres sources d'énergie renouvelable pour renforcer la puissance en place et pallier le problème technique des groupes électrogènes. Mais de telles décisions reviennent au dirigeant de la société au niveau central à Antananarivo.

Retour des utilisateurs

L'insuffisance de la puissance disponible de la société Jirama combinée avec les défaillances techniques des groupes électrogènes détériore la qualité de service offert par la Jirama dans la Commune de Marovoay Ville. Les pannes techniques des groupes électrogènes privent parfois la ville de Marovoay de l'électricité en quelques jours. Des délestages économiques sont régulièrement réalisés. Généralement, la Jirama fonctionne environ 15h par jour. Le total des heures de fonctionnement mensuel des 4 groupes électrogènes est de 1775 heures, selon les chiffres de la Jirama.

4.2 Electrification rurale

CASIELEC à Ankazomborona : une demande importante en électricité non couverte à Ankazomborona

A Ankazomborona, l'électrification est assurée par une centrale thermique de CASIELEC qui est le principal concessionnaire et détenteur d'autorisation d'exploitation de cette centrale décentralisée. Deux Communes sont concernées : Marosakoa et Ankazomborona avec une puissance nominale de 100kW et 16kW respectivement. L'installation à Marosakoa est en panne technique depuis 2017 (ORE, 2017).

Pour la Commune d'Ankazomborona, l'installation a prévu le raccordement de 2 Fokontany, dont Ankazomborona et Amboromalandikely. Dans la situation actuelle, le Fokontany Ankazomborona Centre est le seul raccordé. Selon les informations obtenues, l'offre de service d'électricité actuelle est jugée comme insatisfaisante pour les clients : la centrale produit de l'électricité environ 4 à 5h par jour, les abonnés paient une facture forfaitaire de 30 000Ar/mois et ils sont limités concernant la puissance des matériels électriques utilisés : une ampoule LED et un chargeur batterie. Selon l'autorité communale, moins de 50% des ménages prévus sont raccordés à la centrale, soit environ 150 ménages.

4.3 Les besoins énergétiques des unités de transformation de paddy

Des besoins à puissance variée et assurés par des groupes électrogènes

Sur les six Communes visitées, 18 unités de transformations de paddy ont été approchées : des unités classées de décortiqueries, des dépileurs et des rizeries. En termes de puissance de moteur utilisé, les sites de transformation de paddy varient d'une unité à une autre. Les décortiqueries fonctionnent avec des machines de plus faible puissance, de l'ordre de 11kW (ou 15CV) ; pour les unités de transformation avec des dépileurs, la puissance des moteurs varie de 17kW à 33kW et pour les rizeries, la puissance des unités va au-delà de 35kW. Ces puissances sont notamment liées à la capacité de transformation des unités. Les besoins en électricité des unités de transformation de paddy sont satisfaits par l'autoproduction d'électricité à partir des groupes électrogènes.

Consommation de gasoil :

La consommation d'énergie des unités de transformation tourne autour de 3 à 5l de gasoil par tonne de paddy transformé. Pour une rizerie qui arrive à transformer 7t de paddy par jour consomme environ 35litres de carburant en une journée.

En fait, le besoin plus élevé en puissance de ces sites de transformations, leur éloignement géographique du réseau de la Jirama, l'intermittence de l'activité (existence des périodes pic et des périodes de fonctionnement plus faible) pour certaines unités font que **l'autoproduction est le modèle adopté par les exploitants de ces unités**. Par ailleurs, le transport et la distribution d'électricité pour ces unités nécessitent le remplacement des réseaux de distribution monophasés actuels en des réseaux de distribution triphasés, un investissement que les utilisateurs ne veulent pas supporter, d'autant plus que la Jirama ne veut pas y investir.

Le résultat des entretiens auprès des propriétaires et des exploitants de ces unités de dépailliers ou rizeries ont toutefois démontré leur aspiration à un remplacement de leur moteur thermique en moteur électrique. Leur intérêt réside notamment dans l'alternative à l'achat de carburant qui sont à des prix fluctuants et plus ou moins ascendant et aussi à la disponibilité des balles de riz. L'enjeu est leur capacité d'investissement pour une centrale à biomasse individuelle.

4.4 Besoins énergétiques des autres consommateurs : Les consommateurs du secteur économique local constituent une demande potentielle en électricité

Le besoin en électricité au niveau des consommateurs se résume généralement pour le moment en besoin d'éclairage des ménages. Les plus gros consommateurs d'électricité rencontrés dans les sites ayant accès à l'électricité sont des petites entreprises de production de glace alimentaires, des petits ateliers de soudures qui sont en nombre infime. Selon le responsable de la Jirama, une puissance d'environ 20 à 25kW peut déjà satisfaire le besoin de ces types de consommateurs existants, ils s'adaptent facilement à l'offre. Toutefois, le développement des centrales de production d'électricité qui peut fournir régulièrement de l'électricité constitue une opportunité de développement de différentes activités entre autres les unités de stockage des produits de pêche qui existe dans les zones, des ateliers de menuiseries et de soudures.

4.5 Retour d'Expériences des centrales biomasses existantes dans le district

4.5.1 La centrale à biomasse d'Anjiajia

Offre d'électricité satisfaisante de la centrale à biomasse de 2008 à 2013

La centrale à biomasse d'Anjiajia fonctionnait à partir de balles de riz. Elle a été installée en 2008 et est exploitée par CASIELEC avec une puissance disponible de 60kW.

Selon les responsables, l'offre de service d'électricité a satisfait le besoin de la clientèle dans la commune : tension électrique stable et il n'y avait quasiment aucune coupure durant les périodes de fonctionnement. Le prix du kilowattheure, à 1 500Ar, était acceptable pour les clients. Des demandes de raccordement émanant des usines de transformation de paddy ont été même enregistrées, cependant, la puissance produite ne permettait pas de raccorder une telle installation. Le système d'approvisionnement en balles de riz de la station a été bien organisé : ce sont les personnels de la centrale qui assurent la collecte auprès des unités de transformation de balle de riz et ces dernières ont été collectées gratuitement.

Un système d'approvisionnement local en balle de riz renforcé par les balles de riz dans un rayon de 20km de la centrale

L'approvisionnement de la centrale en balle de riz a été adapté aux conditions des exploitants des unités de transformation de paddy qui auparavant sont obligés de les dégager régulièrement. La centrale disposait 2 maisons de stockage de balles de riz (environ 90m³ de chaque) pour prévenir les périodes où ces ressources sont plus rares ou les périodes de pluies. À certaine période de son

fonctionnement, l'approvisionnement en balle de riz de la centrale d'Anjiajia a été réalisé au-delà de la Commune : des balles de riz provenant du Croisement Anjiajia (à 12km de la centrale) et Andranofasika (à environ 20km de la centrale). Ce prix de transport de balles de riz s'ajoute au coût d'exploitation de la centrale en période de pluie sans pour autant impacter sur le prix de l'unité de kWh. Ce frais de transport varie selon les états de la route et aussi le nombre de sacs transportés : en général, un transport de 100 sacs par voyage coûte environ 20 000Ar.

Panne technique, une difficulté non résolue qui a entraîné la cessation de l'activité de la centrale à biomasse

Une panne technique sur la chaudière est apparue en 2013 après 6 ans de fonctionnement (ouverture au niveau du réacteur qui engendrait une fuite d'eau). Malgré de nombreuses tentatives de réparation de celui-ci, le problème n'a pas pu être résolu. Le réacteur à biomasse a dû cesser de fonctionner au début de l'année 2014 où un groupe électrogène de 80kVA a pris le relais. Mais la production de ce dernier ne satisfait pas les abonnés. En plus, le coût élevé du carburant se rajoute au coût d'exploitation de la centrale réduisant ainsi la rentabilité de l'activité pour l'exploitant. Une défaillance technique du groupe électrogène a entraîné la cessation de l'activité de la centrale depuis 2017.

4.5.2 La centrale à biomasse de Manerinerina

Centrale thermoélectrique limitée par la disponibilité de biomasse ligneuse

La centrale à biomasse de Manerinerina est une centrale thermoélectrique fonctionnant avec de la biomasse ligneuse. L'utilisation de la balle de riz dans son système de fonctionnement est très minime. À cause de l'insuffisance des ressources ligneuses, depuis sa mise en place, l'unité de production d'électricité à partir de biomasse ligneuse n'a fonctionné que pour des moments de démonstration de la technologie. Selon le responsable, la demande de bois de 5m³ par heure pendant 5 heures pour le démarrage de la production de chaleur est déjà un facteur limitant l'adaptabilité de la technologie.

D'ailleurs, les VOI (communauté de base) gestionnaire des ressources forestières locales qui sont les responsables de l'approvisionnement de la centrale ont cessé la fourniture de bois.

Un système d'approvisionnement en biomasse pénalisé par le décalage entre les études sur la potentialité des biomasses et la quantité disponible de biomasse

Face à la consommation en bois de la centrale thermochimique, des soucis de durabilité de l'exploitation des ressources forestières à base de *Ziziphus mauritiana* ont d'une part limitée la motivation des VOI fournisseurs mais également, la rentabilité des autres utilisations de ces bois (notamment la production de charbon) présente une opportunité évidente pour les fournisseurs de bois.

5 Analyse de scénarios

5.1 Présentation des scénarios

La production annuelle de paddy (incluant les 4 saisons) du District Marovoay est d'environ 100 000t par an. Selon les données collectées, seulement 20% de la production totale en paddy de ce District est exportée sans transformation vers d'autres régions de Madagascar. Ainsi, près de 80 000 t de paddy sont transformées à l'intérieur du District.

Dans ce District, la quasi-totalité (97%) de la balle de riz produite est non utilisée et disponible pour la production d'énergie. Les balles de riz inutilisées sont soit éparpillées le long des routes, soit brûlées ou évacuées sur des aires de décharge autour de Marovoay Ville.

On peut donc estimer à plus de 15 000 t/an la quantité de balle de riz. Cette ressource est concentrée en 2 points principaux : à Marovoay-Ville qui comprend les principales rizeries et dépaillleurs du District (4 rizeries, 10 dépaillleurs, 14 décortiqueurs), et dans le bourg d'Ankazomborona (15 dépaillleurs). Les autres Communes du District accueillent également une quinzaine de dépaillleurs et autant de décortiqueurs dispersés dans différentes localités.

L'analyse des besoins en électricité dans le District a mis en évidence 3 grands types de besoins :

1. Un besoin centralisé à Marovoay-Ville. La Ville est actuellement alimentée par le réseau électrique de la Jirama, mais la capacité de production actuelle est insuffisante pour satisfaire l'ensemble des abonnés (délestage) et pour envisager une extension du réseau
2. Un besoin en électrification rurale des principaux bourgs du District, dont en particulier celui d'Ankazomborona. Un opérateur local : CASIELEC est chargé de l'électrification décentralisée de nombreux bourgs de la région mais ce dernier se heurte à de nombreux problèmes techniques et financiers limitant sa capacité d'action
3. Un besoin en énergie des dépaillleurs et décortiqueurs eux-mêmes qui faute d'approvisionnement électrique fiable sont tous équipés d'unités motrices diesel ou de groupes électrogènes.

A partir de ce diagnostic sur la disponibilité, la localisation des ressources en balle de riz et des besoins en énergie exprimés, 3 scénarios de production de bioélectricité ressortent :

- Le **scénario 1** correspond à l'installation d'une centrale biomasse de moyenne puissance (500 KWé) complétant les installations existantes de la Jirama sur Marovoay Ville. Une telle unité permettrait la fourniture d'une électricité de base 24 heures sur 24.
- Le **Scénario 2** correspond à l'installation d'une centrale biomasse de petite puissance (100 KWé) afin de répondre aux besoins en électricité rurale décentralisé du bourg d'Ankazomborona.
- Le **Scénario 3** correspond à l'installation d'une micro-centrale à biomasse chez un dépaillleur (ou un groupement de 2 à 3 dépaillleurs) afin de répondre dans un premier temps à ses besoins (autoproduction) et à compléter un réseau ERD existant.

5.2 Évaluation technico-économique des scénarios

5.2.1 Hypothèses retenues

Les tableaux ci-dessous reprennent les principales caractéristiques techniques des 3 scénarios étudiés (Tableau 25), ainsi que valeurs économiques utilisées dans la présente évaluation (Tableau 26). Les sources des données viennent essentiellement de l'IRENA (), de l'analyse de projets existants (essentiellement en Asie) et de devis ayant pu être faits par le CIRAD auprès de constructeurs.

Tableau 25 : principales caractéristiques techniques des 3 scénarios étudiés à Marovoay

	Unités	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Caractéristiques de la centrale				
Technologie		centrale de gazéification à lit fixe + groupe à gaz	centrale de gazéification à lit fixe + groupe électrogène dual (gaz-diesel)	centrale de gazéification à lit fixe + groupe électrogène dual (gaz-diesel)
Exemples de Marques		ANKUR, HUSK POWER,	ANKUR, HUSK POWER,	ANKUR, HUSK POWER,
Puissance installée (kW)	kW	500	100	60
Facteur de charge (%)	%	0.6	0.6	0.6
Nb d'heures de fonctionnement par jour	h	24.0	12.0	8.0
Nombre d'heures de fonctionnement annuel	h	8 760	4 380	2 920
Durée de vie des équipements	an	20	15	15
Taux de production à Balle de Riz	%	100	60	90
Electricité totale produite	MWh/an	2 628	263	105
Besoins en combustibles				
Consommation en Balle de riz	t/an	5 256.0	346.9	208.1
Gasoil	l/an	0.0	36 792	4 204

Tableau 26 : hypothèses économiques retenues pour l'évaluation

Paramètres communs aux 3 scénarios	Valeurs retenues	Source	Commentaires
Coûts d'investissements Gazo + groupe + installation + raccordements	3000 USD/KW	IRENA + devis faits par le CIRAD + littérature	Ce coût semble se confirmer dans la gamme de puissance 100 KWé–1 Mwé Avec du matériel d'origine asiatique : ANKUR, HUSK POWER
Coûts variables de gestion	5 USD/KW/an	IRENA	Comprend petites réparations, consommables...
Coûts fixes de maintenance	3% du cout d'investissement	IRENA	Comprend le remplacement régulier des gazogènes (5 ans)
Taux d'actualisation	10%	Estimation CIRAD	Valeur moyenne utilisée dans les PVD
Durée de vie des équipements	Entre 15 ans et 20 ans	CIRAD	Valeur inférieure aux préconisations du constructeur
Prix du gasoil	0.9 USD/l	Enquête CIRAD/AIDES	Prix 2018
Prix d'achat balle de riz	4 USD/t	CIRAD/AIDES	Prix jugé acceptable
Prix du transport	0.4 USD/t/km	CIRAD/AIDES	Yc chargement/déchargement

5.2.2 Estimations

Les coûts moyens de production de l'électricité (en USD/Kwh) des 3 scénarios sont résumés dans le tableau suivant. Ces prix sont comparés au prix de production de l'électricité dans un groupe diesel.

Note des auteurs : Il est rappelé que ces coûts représentent juste une estimation grossière et ont seulement pour but d'obtenir un ordre de grandeur réaliste par rapport à une production équivalente par un groupe diesel, et de pouvoir comparer les solutions entre elles.

Tableau 27 : principales caractéristiques techniques des 3 scénarios étudiés à Marovoay

	Unités	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Caractéristiques de la centrale				
Puissance installée (kW)	kw	500.0	100.0	60.0
Nb d'heures de fonctionnement par jour	h	24.0	12.0	8.0
Taux de production à Balle de Riz	%	100.0	60.0	90.0
Electricité totale produite	kwh/an	2 628 000.0	262 800.0	105 120.0
Besoins en combustibles				
Consommation unitaire de balle de riz	t/Kwh	0.0020	0.0022	0.0022
Balle de riz	t/an	5 256.0	346.9	208.1
Consommation unitaire en gazole	l/kWh	0.3	0.4	0.4
Gasoil	l/an	0.0	36 792.0	4 204.8
A. Coûts d'investissement		1 500 000	300 000	180 000
B. Coûts de production annuels		287 005	90 338	36 208
Coûts fixes		176 189	39 442	23 665
Coûts variables		66 140	14 314	7 926
Coûts variables d'exploitation annuelle		44 676	36 582	4 617
Dépenses en gasoil				
Coût d'achat Gasoil	USD	0.0	33 112.8	3 784.3
Dépenses en biomasse				
Coût d'achat balle de riz	USD	21 024.0	1 387.6	832.6
Coût de transport total	USD	23 652.0	2 081.4	0.0
C. Coût de revient du KWh	USD	0.11	0.34	0.34
Coût moyen de production au Diesel	USD (base = 1200 AR/Kwh)	0.21	0.33	0.33
Rapport coût biomasse / coût diesel		0.5	1.0	1.0

5.3 Comparaison et discussion des résultats

D'un point de vue technico-économique, le scénario 1 centrale de 500 kW fonctionnant 24/24 et alimentant le réseau Jirama de Marovoay ville est certainement le plus efficient. Les coûts de production du kWh final seraient deux fois moindres qu'avec un groupe diesel. Les besoins en biomasse de la centrale (5250 t de balle de riz/an) sont largement satisfaits par la disponibilité au sein de la ville de Marovoay même (disponibilité de l'ordre de 8 000 t/an). Une telle centrale permet, par ailleurs, à la Jirama de disposer d'une unité de production de base fonctionnant 24h/24. Une telle puissance et un tel mode de fonctionnement permet une moindre usure du matériel et ainsi des durées de vie de la centrale de l'ordre de 20 ans. Néanmoins, une telle unité demande des coûts d'investissement et de maintenance importants, de l'ordre de 1 500 000 USD.

Le scénario 2 affiche des coûts de production équivalents à ceux obtenus avec un groupe diesel, dans les conditions de fonctionnement d'une unité ERD (12h par jour avec un facteur de charge de 60%). Dans de telles conditions, nous avons estimé que la durée de vie du matériel est réduite à 15 ans, ce qui pèse sur le coût d'amortissement du matériel. Une telle solution à des coûts comparables à ceux d'une unité diesel possède l'avantage de tirer parti d'une ressource locale, dont le prix et la disponibilité ne dépendent pas du marché du pétrole. L'expérience de la centrale d'Anjajia dans des conditions similaires a même montré que le coût de production pouvait être inférieur à celui d'un groupe gasoil et que les moteurs mixtes offraient beaucoup de souplesse d'utilisation. Néanmoins, la même expérience a montré que ces équipements demandaient un grand savoir-faire et une attention constante. Les coûts de maintenance, que nous avons intégrés dans notre évaluation, sont importants et demandent à être provisionnés dans le budget de tout projet et demandent également aux opérateurs de se former sur la gestion de ces équipements.

Le Scénario 3 a des résultats économiques similaires au scénario 2. Il possède les mêmes avantages (ressource disponible localement, indépendance possible par rapport au prix du gasoil), mais également, les mêmes inconvénients du point de vue de la maintenance. Ainsi, il semble en l'état actuel difficile de demander à des dépailliers, dont le métier est de produire du riz, d'acquérir des compétences techniques en gestion de telles installations. D'autant plus qu'il faut rappeler que la production de riz est intermittente, dépendant des aléas climatiques et des récoltes des paysans et qu'à petite échelle cette intermittence entraîne nécessairement un fonctionnement irrégulier de la centrale biomasse augmentant alors la demande en maintenance.

Références

1. P.Montagne, Rakotoarimanana Mamisoa, Pinta François, Razafimahatratra Serge, 2015, Hazavana, Bioenergelec/ADER
2. Gazull et Al. Analyse comparée de deux technologies d'Electrification Rurale Décentralisée à Madagascar, 2014
3. BURNOD P., GAZULL L., GIRARD P., 2009, Les filières biomasse-énergie à Madagascar et sur l'île de Nosy Be : Etat des lieux et potentiels de développement pour la production d'agrocarburants, d'électricité et de chaleur, ADEME – Cirad, 276p.
4. Recensement des Communes, Programme Ilo, Cornell University / FOFIFA / INSTAT, 2001
5. Beguerie V., Blanchard K., The potential for renewable energies in rural areas of Madagascar, ONUDI, 2009, 131p.
6. Ministère de l'énergie et des hydrocarbures, Lettre de politique de l'énergie à Madagascar 2015-2030, 2015, 32p.
7. Banzon J. A., 1980, The Coconut as renewable energy source, Philippine Journal of Coconut Studies Vol. 5 No. 1, pp. 31 - 36
8. Country Watch 2018, Comoros 2018 Contry review, 323p.
9. Danneville V., Malaval C., 2004, Etude de la filière cocotier aux Comores dans un contexte de crise phytosanitaire, Montpellier : CNEARC, 2 vol. (43, 160 p.). Mémoire Mastère : Foresterie rurale et tropicale : Centre national d'études agronomiques des régions chaudes
10. FAO 2016, FAOstat
11. Food Fortification Initiative 2016, Union of Comoros, 7p.
12. Ollivier L., Delvare G., 2005, Projet de lutte biologique contre les aleurodes du cocotier aux Comores : rapport de mission réalisée du 9 au 20 octobre 2005, Montpellier : CIRAD, 54p.
13. FRA 2015 – Country Report, Comoros, 2014, FAO : Rome.
14. Ben Houssen A., 2000, L'Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA), Programme de partenariat CE-FAO, Rome.
15. Boussougou, G. B., Brou, Y. T., & Mohamed, I., 2015, Changements de la couverture forestière dans l'île d'Anjouan entre 1995 et 2014. In Spatial Analysis and GEomatics conference, SAGEO 2015.
16. DUPRE J.-Y., 2015, Rapport de Mission concernant la production d'électricité à partir de biomasse à l'île Maurice et à la Réunion, AFD, 33p.
17. AUDOUIN S., 2016, Analyse des filières de gazéification pour le CFPPA de Piton Saint-Leu et à l'échelle régionale, île de la Réunion, CIRAD, 155p.
18. Schéma Régional Biomasse (SRB) de la Réunion, 2017, Document d'Orientation, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 44p.
19. Cyathea/S3D, 2014, Schéma directeur Bois Energie, Mise en place d'une filière bois énergie structurée à la Réunion
20. FEXTE 2018, Stratégie pour le déploiement de la bioélectricité à Maurice, CIRAD-MSIRI-MCIA, 106p.
21. Statistics Mauritius 2016, Digest of Environment Statistics, Ministry of Finance and Economic Development, Mauritius, 197p.
22. Forestry Service 2006, National Forest Policy, Ministry of Agro-Industry and Fisheries, Mauritius, 25p.
23. DUPRE J.-Y., 2015, Rapport de mission concernant la production d'électricité à partir de biomasse à l'île Maurice et à la Réunion, AFD, 33p.
24. Mendis et al., Biomass Gasification: Field Monitoring Results, *Biomass* 19 (1989) 1-18

The background of the page features a large, abstract graphic. It consists of several concentric, overlapping circles in shades of light blue and white. In the upper right corner, there is a stylized orange circle with a white outline, resembling a sun or a moon. The overall design is clean and modern.

Blue Tower, 4ème étage, Rue de l'Institut,
Ébène, Maurice
Tel: (+230) 402 6100
Fax: (+230) 466 0160
www.coi-ioc.org